НАЧАЛЬНАЯ
ФИЗИКА

ВЪ ОБЪЕМѢ ГИМНАЗИЧЕСКАГО ПРЕПОДАВАНІЯ.

Н. ЛЮБИМОВА.

ПРОФЕССОРА МОСКОВСКАГО УНИВЕРСИТЕТА.

СЪ 780-Ю ПОЛИТИПАЖАМИ ВЪ ТЕКСТѢ, ЗАДАЧАМИ, РЕПЕТИТОРІУМОМЪ И ВОПРОСАМИ ДЛЯ УПРАЖНЕНІЙ.

МОСКВА.
Въ Университетской типографіи (Катковъ и К°),
на Страстномъ бульварѣ.
1873.

КУРСЪ НАЧАЛЬНОЙ

ФИЗИКИ

НА ИСТОРИЧЕСКОМЪ ОСНОВАНIИ.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

> Wherewer it is possible knowledge schould be insinuated into the mind of another in the manner in which it was first discovered.
>
> *Bacon.*
>
> Гдѣ только возможно, знаніе должно быть внѣдряемо въ умъ другаго тѣмъ самымъ путемъ какимъ оно впервые открыто.
>
> *Беконъ.*

Предлагаемый учебникъ имѣетъ особенность, на которую считаю не лишнимъ указать. Приведенный эпиграфъ даетъ о ней понятіе. При изложеніи всѣхъ важнѣйшихъ положеній науки я старался уловить нить идей изобрѣтателей, и гдѣ только представлялась возможность говорилъ ихъ собственными словами. Такое введеніе въ учебное руководство историческаго элемента въ тѣсномъ сліяніи съ элементомъ догматическимъ, безъ ущерба для послѣдняго, но въ оживленіе и поясненіе, казалось мнѣ весьма полезнымъ по отношенію къ предмету который есть представитель естествознанія въ ряду наукъ введенныхъ въ кругъ общаго образованія и отъ преподаванія котораго можно желать не только сообщенія полезныхъ фактическихъ свѣдѣній, но и вклада

въ духовное развитіе учащагося. Духъ естествознанія есть по преимуществу духъ изысканія и открытія. Истинная школа логики открытій заключается въ ихъ философской исторіи, въ раскрытіи тѣхъ путей какими достигнуты великія пріобрѣтенія въ области изученія природы. Съ другой стороны, сліяніе историческаго и догматическаго элементовъ, опытъ котораго желалъ я дать въ настоящемъ сочиненіи, кажется мнѣ полезнымъ и собственно въ педагогическомъ отношеніи. Процессъ перваго изученія, какимъ учащійся входитъ въ новый для него міръ, имѣетъ сходство съ процессомъ самого открытія, первый актъ котораго есть рожденіе мысли внезапно освѣщающей и раздѣляющей то что представлялось темнымъ и слитнымъ. Первая трудность при усвоеніи изучаемаго предмета заключается въ томъ чтобы представить его себѣ съ надлежащею ясностію, съ различеніемъ существеннаго отъ того что облекаетъ и сопровождаетъ оное. На этихъ первыхъ шагахъ главное вниманіе должно быть обращено не столько на строгость доказательства и подробности оправданія даннаго положенія науки, сколько на уясненіе его сущности. Изложеніе по первымъ источникамъ казалось мнѣ особенно способнымъ для достиженія этой цѣли. Въ умѣ изобрѣтателя найденное имъ положеніе науки хотя бы въ формѣ только плодотворной догадки, представляется съ особою ясностію, отражающеюся на изложеніи. Повторяя мысль изобрѣтателя,

учащійся проходитъ путь испытанный и дѣйствительно ведущій къ цѣли. Какая надобность перефразировать то что выражено изобрѣтателемъ съ удареніемъ на существенномъ, съ особымъ интересомъ къ излагаемому, съ привлекательною оригинальностію формы, — перефразировать подвергаясь опасности удалиться отъ подлинной мысли. Не говоримъ уже о столь обыкновенной въ учебныхъ руководствахъ перефразировкѣ изъ третьихъ рукъ.

Курсъ раздѣленъ нами на пять отдѣловъ: *механическая часть, звукъ, тепло и свѣтъ, магнетизмъ и электричество, общая физика*. Въ отдѣлъ общей физики мы отнесли изложеніе механическихъ началъ ученія о природѣ болѣе отчетливое чѣмъ какое возможно при началѣ курса. Въ третьемъ отдѣлѣ, принимая въ сооображеніе тождество явленій, мы не отдѣляли ученія о лучахъ теплоты отъ ученія о лучахъ свѣта. Къ концу книги приложено сжатое изложеніе главнѣйшихъ положеній курса, которое, полагаю, будетъ существенно полезно при повтореніи пройденнаго. За такимъ репетиторіумомъ слѣдуетъ рядъ вопросовъ, касающихся пунктовъ на которые я желалъ обратить вниманіе преподавателей. Значительная часть этихъ вопросовъ можетъ служить темою для упражненій учащихся.

Не указываю разсѣяныхъ въ курсѣ особенностей при изложеніи частностей. Свѣдущими онѣ будутъ замѣчены.

ОТДѢЛЪ ПЕРВЫЙ.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ФИЗИКИ.

I. Ученіе о тяжести.

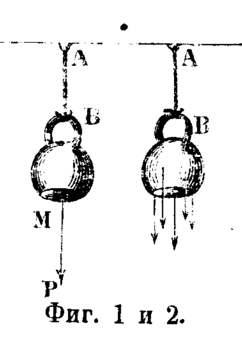
§ 1. Паденіе и вѣсъ тѣлъ какъ слѣдствіе дѣйствія силы тяжести.—Камень ничѣмъ неподдерживаемый падаетъ на землю. Если мы держимъ его въ рукѣ или помѣстимъ на столѣ, то онъ производитъ на руку или на столъ *давленіе*, называемое *вѣсомъ*. Очевидно что два эти явленія находятся въ ближайшей связи между собою: камень падаетъ отъ того что имѣетъ вѣсъ, и производитъ давленіе отъ того что стремится упасть. Явленія эти такъ обыкновенны и *паденіе* представляется такимъ общимъ и первоначальнымъ свойствомъ окружающихъ насъ тѣлъ, что потребно усиліе ума дабы отдѣлить мысленно этотъ признакъ отъ остальныхъ свойствъ тѣла, отвлеченно представить себѣ тѣло не имѣющимъ вѣса и разсматривать *вѣсъ* какъ слѣдствіе дѣйствія на тѣло нѣкоторой особой причины. Но не трудно убѣдиться что такая причина дѣйствительно есть. Представимъ себѣ камень лежащій въ комнатѣ, въ углѣ гдѣ стѣна пересѣкается съ поломъ, и пусть этотъ камень касается и стѣны и пола. Касаясь стѣны, онъ не производитъ на нее никакого давленія и остался бы попрежнему въ покоѣ, еслибы ея не было. Для произведенія давленія на стѣну мы должны прижать камень чѣмъ-нибудь къ ней, напримѣръ усиліемъ руки. Но на полъ камень самъ собою

производитъ давленіе дѣйствующее сверху внизъ. Заключаемъ что по направленію внизу камень испытываетъ невидимое дѣйствіе, объясняющее его давленіе на полъ, подобно тому какъ усиліе руки прижимающее камень объясняетъ его давленіе на стѣну. Если бы этого невидимаго дѣйствія не было, тѣло не имѣло бы вѣса, и тогда не было бы нужно его поддерживать, чтобъ оно не упало: камень остался бы въ воздухѣ въ томъ мѣстѣ гдѣ мы его помѣстили. Дѣйствіе это можетъ быть больше или меньше, смотря по тому гдѣ находится тѣло. Вѣсъ камня не одинаковъ на горѣ, на различныхъ мѣстахъ земной поверхности и въ земныхъ глубинахъ. Если бы мы могли перенести камень на луну, на солнце, на планеты, то замѣтили бы несравненно болѣе значительныя измѣненія его вѣса чѣмъ какія можемъ наблюдать на землѣ.

Въ чемъ состоитъ невидимое дѣйствіе гонящее тѣло, тянетъ ли что либо его снизу, толкаетъ ли что либо сверху, опытъ этого вопроса не рѣшаетъ. Есть, впрочемъ, въ числѣ извѣстныхъ намъ явленій одно представляющее значительное сходство съ разсматриваемымъ. Это притяженіе желѣза къ магниту. Кусокъ желѣза стремится къ магниту, повинуясь невидимому дѣйствію, подобно тому какъ камень стремится къ землѣ. Отсюда идея о *тяжести* или земномъ притяженіи какъ причинѣ паденія и вѣса тѣлъ. Хотя причины такихъ притягательныхъ дѣйствій и неизвѣстны, тѣмъ не менѣе самыя дѣйствія могутъ подлежать точному изученію, какимъ и займемся по отношенію къ тяжести.

§ 2. Равновѣсіе тѣла, повѣшеннаго на нити. Чтобы тѣло не упало, нѣтъ надобности подпирать его снизу: можно также повѣсить его на нити (фиг. 1). Сопротивленіе нити уничтожаетъ дѣйствіе тяжести, которое

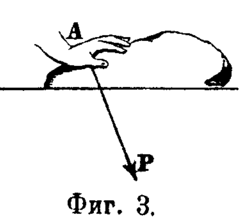
тянетъ внизъ. Линія MP, служащая продолженіемъ нити AB, наглядно показываетъ *направленіе*, по которому это дѣйствіе обнаруживается. Явленіе происходитъ такъ, какъ если бы линія MP была нитью, за которую нѣкоторая невидимая причина или *сила* тянула бы тѣло внизъ по ея направленію. Если условимся рисовать линію MP тѣмъ длиннѣе, чѣмъ больше разсматриваемая нами сила, то получимъ возможность изображать на чертежѣ не только направленіе силы но и ея, сравнительную съ другими силами, величину. Чѣмъ больше вѣситъ тѣло, тѣмъ сравнительно длиннѣе должны мы рисовать линію MP.



Фиг. 1 и 2.

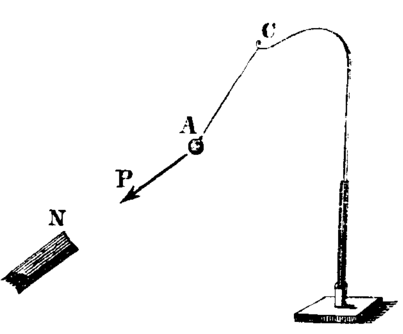
Хотя описанный опытъ и уполномочиваетъ насъ разсматривать дѣйствіе тяжести на тѣло какъ *одну* силу тянущую тѣло внизъ, однако мы не должны забывать, что на самомъ дѣлѣ каждая часть тѣла имѣетъ вѣсъ и тянула бы нить еслибы была повѣшена отдѣльно. Потому для полнаго изображенія дѣйствія тяжести мы должны представить себѣ, что на каждую частицу тѣла дѣйствуетъ своя сила (нѣсколько такихъ силъ изображено на фиг. 2). Изъ нашего опыта слѣдуетъ что дѣйствіе цѣлой *системы силъ* можетъ быть приведено къ одной силѣ. Такая сила называется *равнодѣйствующею* по отношенію къ силамъ, которыя она замѣняетъ и которыя называются *слагающими*.

Не только для изображенія дѣйствія тяжести на тѣло, но и для изображенія дѣйствія всякаго рода давленій и притяженій, вообще *силъ* на тѣла, прибѣгаютъ къ такому же способу изображенія. Такъ линія AP на фиг. 3 можетъ изображать давленіе руки на камень, линія AP на фиг. 4—притяженіе какое магнитъ оказываетъ на



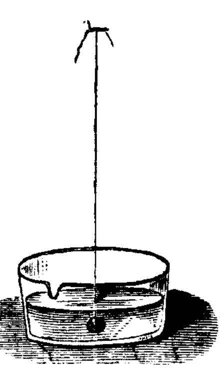
Фиг. 3.

кусокъ желѣза *A* повѣшенный на нити, и т. д. Строго говоря, давленіе руки дѣйствуетъ не на одну точку, а на цѣлую совокупность частицъ камня, магнитное притяженіе на каждую частицу желѣза, и мы должны бы представить цѣлую систему линій, но мы можемъ безъ ущерба точности изображать одною линіею дѣйствіе причины, обнимающей цѣлую совокупность точекъ: а) если система дѣйствующихъ силъ, какъ въ примѣрѣ съ тяжестію, приводится къ одной силѣ; б) когда можно по малости размѣровъ тѣла сравнительно съ разстояніемъ на какомъ разсматривается дѣйствіе не принимать въ разсчетъ что тѣло состоитъ изъ частей и разсматривать его какъ одно цѣлое, какъ одну *матеріальную точку.* Частицы изъ которыхъ мы представляемъ себѣ состоящими тѣла всегда разсматриваются какъ матеріальныя точки.



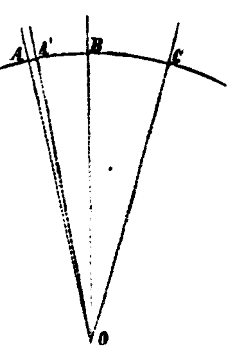
Фиг. 34.

§ 3. Направленіе дѣйствія тяжести.—Направленіе принимаемое нитью съ тяжелымъ тѣломъ на концѣ (фиг. 5), показывающее направленіе по которому дѣйствуетъ тяжесть, перпендикулярно къ поверхности воды, ртути и вообще всякой жидкости въ спокойномъ состояніи. Эта поверхность называется *горизонтальною*, а направлѐніе нити носитъ названіе *вертикальнаго* или *отвѣснаго.*


Фиг. 5.

Изъ того что нить съ грузомъ принимаетъ направленіе перпендикулярное къ поверхности воды легко вывести что дѣйствіе тяжести направлено къ центру земли. Поверхность воды покрывающей бо́льшую часть земнаго шара можетъ быть разсматриваема какъ поверхность сферическая, кажущаяся на маломъ протяженіи плоскою по причинѣ огромной величины

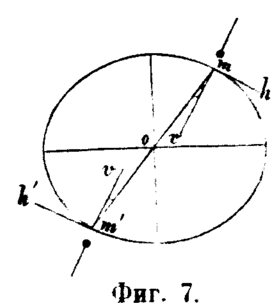
земнаго радіуса. Пусть *AC* (фиг. 6) представляетъ поверхность воды; и при точкѣ *A* повѣшено на нити тяжелое тѣло. Такъ какъ нить принимаетъ направленіе перпендикулярное къ поверхности воды, то продолженіе нити *AO* пойдетъ по радіусу, ибо въ сферической поверхности радіусъ перпендикуляренъ къ элементу поверхности. То же самое можно сказать и о всякой другой нити повѣшенной на какомъ-нибудь другомъ мѣстѣ земной поверхности. Такимъ образомъ вертикальныя линіи проведенныя на различныхъ точкахъ *A*, *B*, *C* земной поверхности, будучи продолжены внутрь земли, сходятся въ ея центрѣ. Слѣдовательно *тяжесть дѣйствуетъ по направленію къ центру земли* *).



Фиг. 6.

Потому, если мы повѣсимъ на нитяхъ два тѣла, одно подлѣ другаго, то эти нити въ строгомъ смыслѣ не параллельны между собою, ибо ихъ направленія *AO*, *A'O* (фиг. 6) пересѣкаются въ центрѣ земли. Но такъ какъ центръ земли находится на глубинѣ 6350 километровъ подъ земною поверхностію, то уголъ *AOA'* между двумя этими линіями такъ малъ, что ихъ можно считать параллельными. Точно также можно считать параллельными направленія по которымъ тяжесть дѣйствуетъ на разныя точки одного и того же тѣла.

*) Впрочемъ, только приближенно можно разсматривать землю какъ шаръ; различные діаметры земли не равны между собою: полярный діаметръ менѣе діаметра экваторіальнаго на 41 километръ, и точная фигура земли близко подходитъ къ элипсоиду вращенія около полярной оси. Такимъ образомъ, говоря строго, вертикальныя линіи не пресѣкаются въ центрѣ земли;



Фиг. 7.

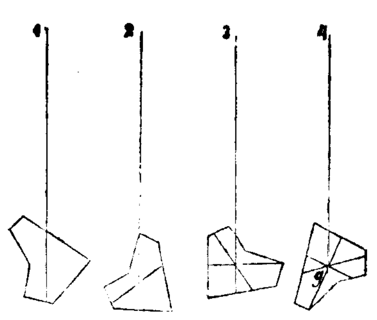
§ **4. Центръ тяжести.** — Нить на которой вѣшается тѣло можетъ быть прикрѣплена къ различнымъ его точкамъ. Вѣшая тѣло послѣдовательно за различныя точки его поверхности и давая ему такимъ образомъ всевозможныя положенія, можно, для всякаго изъ этихъ положеній, найти направленіе равнодѣйствующей силы, къ которой проводится дѣйствіе тяжести. Пусть разсматриваемое тѣло есть однородный шаръ. Не трудно убѣдиться что за какую бы точку поверхности шара мы его ни привѣсили, онъ приметъ такое положеніе что нить на которой онъ привѣшенъ, будучи мысленно продолжена внизъ, пройдетъ чрезъ его центръ.

Не только въ случаѣ шара, а и въ случаѣ вообще всякаго тѣла, линія по направленію которой дѣйствуетъ равнодѣйствующая тяжести проходитъ во всѣхъ возможныхъ положеніяхъ тѣла черезъ одну точку. Эта точка называется *центромъ тяжести.*

На опытѣ справедливость этого положенія легко оправдать въ случаѣ, достаточно впрочемъ общемъ, *плоскаго тѣла малой толщины* (еслибы мы взяли тѣло произвольной толщины, то было бы затруднительно на опытѣ означить *внутри* тѣла продолженіе нити). Возьмемъ листъ картона и вырѣжемъ изъ него ножницами произвольную фигуру. Привѣсимъ ее на нити у стѣны, и, приложивъ линейку по направленію нити, начертимъ на картонѣ продолженіе этой нити. Потомъ привѣсимъ картонъ за другую, третью и т. д. точки края и повторимъ то же самое. Найдемъ, что всѣ начертанныя такимъ образомъ линіи (фиг. 8) пересѣкаются въ одной и той же точкѣ g, которая и

радіусъ mo дѣлаетъ уголъ съ вертикальною линіею mv, перпендикулярною въ малой части поверхности элипсоида (къ касательной плоскости). Вертикальныя линіи соотвѣтствующія точкамъ земли лежащимъ въ концахъ одного и того же діаметра mm' не совпадаютъ между собою. Антиподы въ строгомъ смыслѣ существуютъ только для полюсовъ и для экватора.

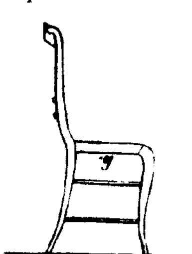
соотвѣтствуетъ центру тяжести фигуры. Такъ какъ картонъ имѣетъ толщину, то, говоря строго, самый центръ тяжести находится не на поверхности, а въ толщѣ картона, именно на срединѣ его толщины.



Фиг. 8.

Иногда центръ тяжести помѣщается внѣ тѣла. Такъ, за какую бы точку мы ни повѣсили кольцо (фиг. 9), направленіе нити всегда пройдетъ черезъ центръ его фигуры, который и будетъ его центромъ тяжести. Въ случаѣ стула такой формы, какъ на фиг. 10, центръ тяжести находится приблизительно въ точкѣ g, въ чемъ можно убѣдиться, вѣшая стулъ за различныя его точки. Какъ понять что сила дѣйствуетъ на точку которая не принадлежитъ тѣлу, а находится внѣ его? Не должно забывать что равнодѣйствующая сила есть представленіе нашего ума: на самомъ дѣлѣ тяжесть дѣйствуетъ на каждую частицу тѣла. Чтобы понять дѣйствіе силы на центръ тяжести, лежащій внѣ стула, достаточно вообразить что этотъ центръ соединенъ со стуломъ при помощи небольшаго прибавка n (фиг. 11), который, говоря строго, должно представлять себѣ не имѣющимъ вѣса.

Фиг. 9.

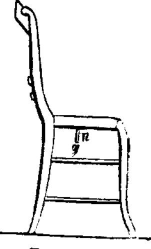


Фиг. 10.

Когда тѣло однородно, то его центръ тяжести можетъ быть найденъ на основаніи геометрическихъ соображеній. Центръ тяжести шара, очевидно, находится въ его центрѣ; центръ тяжести цилиндра находится на срединѣ его оси; конуса—на $\frac{3}{4}$ линіи, соединяющей его вершину съ центромъ круга основанія, считая отъ вершины; треугольника—на линіи, соединяющей его вершину съ срединою основанія, на разстояніи $\frac{2}{3}$ отъ вершины.

§ **5. Условія равновѣсія тяжелаго тѣла.** Когда центръ тяжести подпертъ, все тѣло остается въ равновѣсіи. Такъ, надѣвъ фигуру изъ картона на горизонтальную ось, проходящую чрезъ центръ тяжести и вокругъ ко-

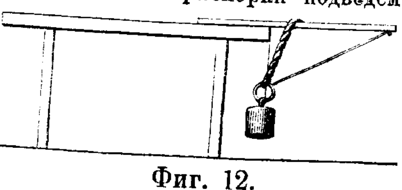
торой она можетъ свободно обращаться, мы замѣтимъ что фигура эта останется въ равновѣсіи, какое бы положеніе мы ей ни дали вокругъ оси. Также точно стулъ (фиг. 11) остается въ равновѣсіи во всякомъ положеніи, какъ скоро подперта точка g, его центръ тяжести.



Фиг. 11.

Для равновѣсія нѣтъ необходимости чтобы центръ тяжести былъ подпертъ непосредственно. Достаточно чтобы вертикальная линія проведенная чрезъ центръ тяжести проходила чрезъ точку тѣла, которая подперта, или по крайней мѣрѣ между точками которыя подперты.

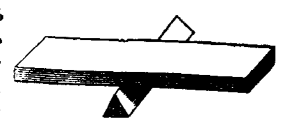
Помѣстимъ на столѣ узкую деревянную линейку, привѣсимъ къ ней грузъ (фиг. 12) и помощію распорки подведемъ грузъ къ столу такъ, чтобы вертикальная линія проведенная чрезъ его центръ тяжести проходила чрезъ край стола. Въ такомъ случаѣ система останется въ равновѣсіи и край стола будетъ служить точкою опоры, сопротивленіемъ которой уничтожается дѣйствіе тяжести. Еслибы не было распорки, то, конечно, равновѣсіе было бы невозможно. Прибавленіемъ распорки разрѣшается задача которая съ перваго взгляда можетъ казаться затруднительною: какъ привѣсить къ линейкѣ, которая сама падаетъ со стола (ибо бо́льшая часть ея лежитъ внѣ стола), еще тяжелый грузъ такъ, чтобы вся система осталась въ равновѣсіи?



Фиг. 12.

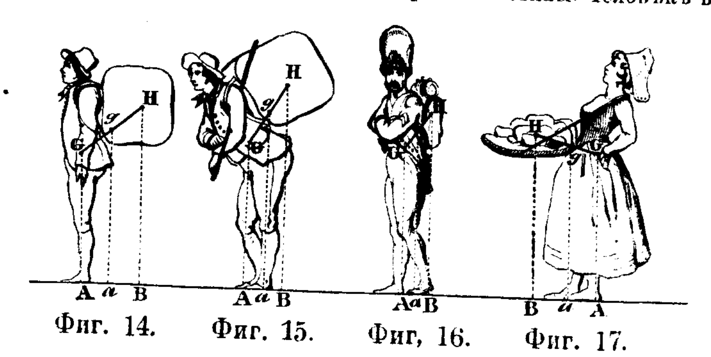
Стулъ стоящій на полу остается въ равновѣсіи, потому что вертикальная линія проведенная чрезъ его центръ тяжести, проходитъ между подпертыми точками.

Центръ тяжести человѣческаго тѣла находится на средней линіи тѣла внутри живота, противъ послѣдняго поясничнаго позвонка. Положеніе его можно опредѣлить помощію опыта съ доскою уравновѣшенною на треугольной подставкѣ (фиг. 13). Человѣкъ ложится на доску, которая тотчасъ склоняется въ ту или другую сторону, потомъ онъ медленно подвигается до тѣхъ поръ, пока равновѣсіе возстановляется. Тогда центръ тяжести будетъ подпертъ и придется надъ вершиною треугольной подставки.



Фиг. 13.

Центръ тяжести перемѣняетъ свое положеніе, внутри тѣла, когда человѣкъ двигаетъ членами или несетъ тяжесть. Еслибы художникъ нарисовалъ человѣка, несущаго значительную тяжесть въ прямомъ совершенно положеніи, какъ на фиг. 14, онъ погрѣшилъ бы противъ истины. Человѣкъ въ



Фиг. 14. Фиг. 15. Фиг, 16. Фиг. 17.

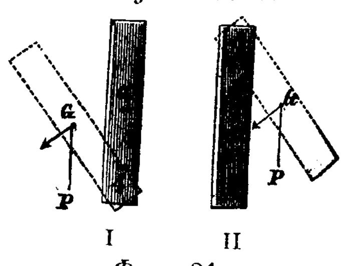
такомъ положеніи долженъ упасть, ибо общій центръ тяжести его и груза не подпертъ. Человѣкъ несущій тяжесть нагибается (фиг. 15) впередъ, такъ чтобы центръ тяжести подался впередъ и былъ подпертъ. Солдатскому ранцу (фиг. 16) дается широкая и плоская форма именно для того, чтобы, будучи привѣшенъ за плечами, онъ не измѣнялъ замѣтно положенія центра тяжести и не утомлялъ солдата, заставляя нагибаться. Торговка (фиг. 17) наклоняется назадъ и подпираетъ руки въ бока чтобы уравновѣсить дѣйствіе лотка и сохранить надлежащее положеніе центра тяжести. Подобнымъ образомъ толстый человѣкъ (фиг. 18) держитъ корпусъ нѣсколько назадъ. Носильщикъ (фиг. 19), держа ведро воды въ лѣвой рукѣ, наклоняется

Фиг. 20. Фиг. 19. Фиг. 18.

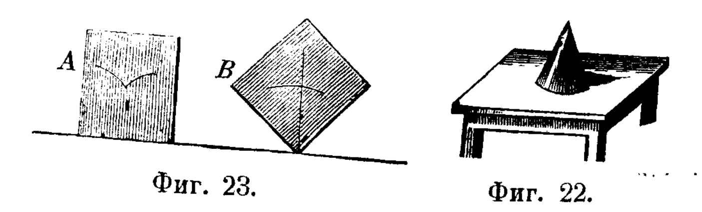
вправо чтобъ дать надлежащее положеніе центру тяжести. На головѣ (фиг. 20) можно безъ утомленія нести довольно значи-

тельную тяжесть, такъ какъ центръ тяжести остается на средней линіи тѣла, и нѣтъ надобности въ утомительномъ нагибаніи.

§ 6. Устойчивое и неустойчивое равновѣсіе. Если центръ тяжести помѣщенъ такъ, что тѣло, будучи выведено изъ положенія равновѣсія, стремится опять къ нему возвратиться, то равновѣсіе бываетъ прочно и называется *устойчивымъ*. Это бываетъ, когда центръ тяжести въ положеніи равновѣсія тѣла находится ниже чѣмъ въ сосѣднихъ положеніяхъ. Такъ тѣло повѣшенное на отвѣсной нити находится въ положеніи устойчиваго равновѣсія, ибо при отклоненіи его въ сторону центръ тяжести *повышается*. Призма, качающаяся на оси A, помѣщенной выше центра тяжести G (фиг. 21, II; поставленные на широкое основаніе конусъ (фиг. 22), кубъ (фиг. 23, A). пред-

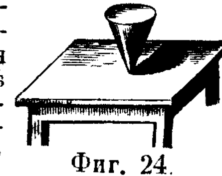


Фиг. 21.



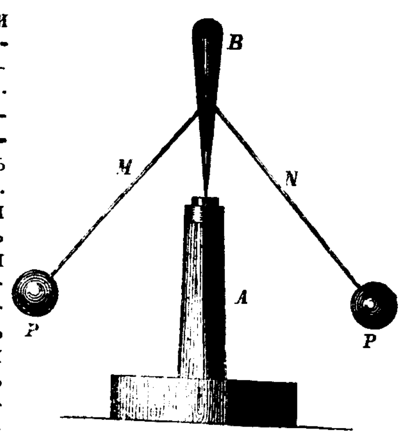
Фиг. 23. Фиг. 22.

ставляють примѣръ устойчиваго равновѣсія. Если при выведеніи тѣла изъ того положенія, при которомъ его центръ тяжести подпертъ, эта точка *понижается*, то тѣло находится въ положеніи *неустойчиваго* равновѣсія. Такой случай равновѣсія возможенъ только въ теоріи; на практикѣ его нельзя осуществить, и тѣло, помѣщенное въ положеніи неустойчиваго равновѣсія, тотчасъ падаетъ. Конусъ (фиг. 24), кубъ B (фиг. 23, B), поставленные на вершинахъ, представляютъ примѣры неустойчиваго равновѣсія.


Фиг. 24.

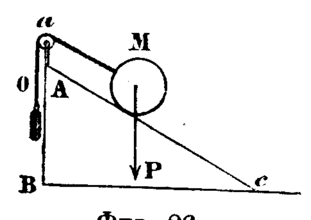
Снарядъ, представленный на фиг. 25, удобно можетъ служить для показанія различныхъ случаевъ равновѣсія тѣла, котораго центръ тяжести подпертъ. Если бы верхнее конусообразное тѣло B было одно помѣщено на подставку A, то оно находилось бы въ состояніи неустойчиваго равновѣсія, которое не могло бы сохраниться, и тѣло тотчасъ бы упало. Но если мы присоединимъ къ нему на прутьяхъ M и N два груза P

и P, тогда центръ тяжести всей системы,—если грузы помѣщены достаточно низко,—будетъ находиться ниже точки опоры (т.-е. точки, гдѣ остріе тѣла B касается подставки), и мы будемъ имѣть случай прочнаго равновѣсія. Поднимая осторожно прутья съ грузами, можно помѣстить ихъ такъ, что центръ тяжести придется въ самой точкѣ опоры. Равновѣсіе будетъ безразличнымъ. Тѣло B будетъ оставаться въ равновѣсіи какъ въ вертикальномъ, такъ и въ наклонныхъ положеніяхъ. Загнувъ прутья еще выше, перейдемъ къ случаю неустойчиваго равновѣсія.



Фиг. 25.

§ 7. Равновѣсіе тѣла на наклонной плоскости.—Помѣстимъ тѣло на гладкой доскѣ, поставленной наклонно (*на наклонной плоскости*); оно скатится внизъ. Если удержимъ его помощію нити, протянутой по направленію наклона вверхъ, то усиліе съ какимъ оно тянетъ нить будетъ менѣе чѣмъ въ томъ случаѣ, когда оно отвѣсно виситъ на нити. Въ отвѣсномъ положеніи оно дѣйствуетъ на нить всѣмъ своимъ вѣсомъ, въ случаѣ же наклонной плоскости вѣсъ его уравновѣшивается двумя препятствіями: сопротивленіемъ нити и сопротивленіемъ плоскости: общее дѣйствіе разбивается на два дѣйствія. Величину натяженія нити можно опредѣлить опытомъ, перекинувъ нить черезъ блокъ *a* (фиг. 26) и узнавъ какой грузъ надо къ ней привѣсить чтобы тѣло осталось въ равновѣсіи. Опытъ показываетъ, что вѣсъ этого гууза во столько разъ менѣе вѣса тѣла, во сколько *высота* AB наклонной плоскости *менѣе ея длины* AC.

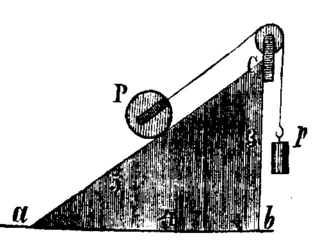


Фиг. 26.

Слѣд., назвавъ вѣсъ груза буквою p, вѣсъ тѣла P, $AB = h$, $AC = l$, будемъ имѣть:

$$p : P = h : l \text{ или } p = P\frac{h}{l}$$

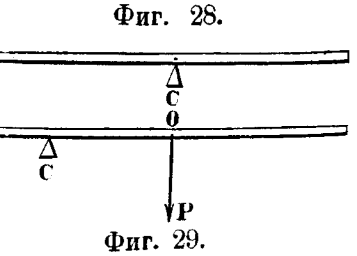
Такъ, напримѣръ, на фиг. 27 гдѣ высота относится къ длинѣ какъ 3 къ 5 грузъ p будетъ $\frac{3}{5}$ вѣса тѣла P.



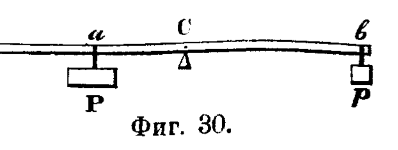
Фиг. 27.

§ 8. Равновѣсіе двухъ грузовъ на прутѣ. Имѣемъ прутъ помѣщенный на острой подставкѣ. Еслибы прутъ этотъ не имѣлъ вѣса, онъ остался бы въ равновѣсіи, какою бы точкою мы ни помѣстили его на подставкѣ. Если прутъ имѣетъ вѣсъ, то онъ останется въ равновѣсіи только если подставка придется подъ его центромъ тяжести (фиг. 28). Иначе сила OP (фиг. 29) изображающая вѣсъ прута, сосредоточенный въ его центрѣ тяжести, заставитъ часть лежащую вправо отъ C опуститься внизъ. Въ случаѣ однороднаго цилиндрическаго прута центръ тяжести будетъ въ срединѣ. Такой прутъ помѣщенный срединою на подставкѣ останется въ равновѣсіи, какъ если бы не имѣлъ вѣса, съ тою разницею, что прутъ имѣющій вѣсъ оказываетъ на подставку давленіе равное этому вѣсу. Привѣсимъ въ точкахъ a и b такого прута (фиг. 30) грузы P и p, которые можно разсматривать какъ силы дѣйствующія въ этихъ точкахъ по отвѣсному направленію. Прутъ, котораго одна точка подперта, а въ двухъ другихъ дѣйствуютъ противуборствующія силы, называется *рычагомъ математическимъ*, если мы представляемъ его себѣ не имѣющимъ вѣсъ,—*физическимъ* въ случаѣ если онъ разсматривается имѣющимъ вѣсъ. Прутъ предполагается несгибаемымъ. Разстоянія линій изображающихъ направленіе силъ отъ точки опоры называются *плечами* рычага. На фиг. 30 Ca и Cb суть плечи рычага. Архимедъ *) указалъ слѣдующій законъ равновѣсія силъ на рычагѣ. Чтобъ двѣ силы уравновѣшивались на рычагѣ, бо́льшая сила должна дѣйствовать на рычагъ ближе къ его точкѣ опоры чѣмъ меньшая, и притомъ во сколько разъ бо́льшая сила больше малой, во столько длинное плечо, соотвѣтствующее малой силѣ, должно быть больше короткаго, соотвѣтствующаго большой.

Фиг. 28.



Фиг. 29.



Фиг. 30.

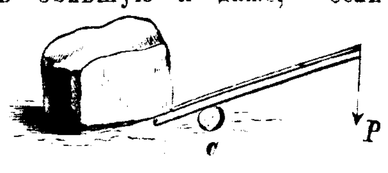
Другими словами должно существовать отношеніе

$$\frac{P}{p} = \frac{Cb}{Ca} \text{ или } P.Ca = p.Cb$$

Назвавъ плечи—длинное буквою L, короткое буквою l, будемъ имѣть:

$$P.\,l = p.\,L$$

Такимъ образомъ помощію рычага мы можемъ малою силою уравновѣсить большую и даже, — если дадимъ малой силѣ величину бо́льшую противъ того что́ требуется для равновѣсія,—можемъ малымъ усиліемъ побѣдить большое сопротивленіе. Фиг. 31 изображаетъ пріемъ, съ помощію котораго усиліемъ руки можно сдвинуть большой камень.



Фиг. 31.

Дѣйствіе рычага обусловливается тѣмъ обстоятельствомъ что въ немъ есть точка опоры, выдержива-

*) Архимедъ великій математикъ древности жилъ въ III вѣкѣ до Р. Х. въ Сиракузахъ и былъ родственникъ и другъ правителя Сиракузъ Гіерона. Открылъ свойства центра тяжести и пра-

ющая совокупное дѣйствіе приложенныхъ силъ. Точка опоры O на рычагѣ (фиг. 30) держащемъ грузы P и p испытываетъ давленіе $P+p$, къ которому прибавляется еще и давленіе вѣса прута, въ случаѣ если рычагъ физическій.

§ 9. Случай физическаго рычага подпертаго не въ центрѣ тяжести. Если прутъ подпертъ не въ центрѣ тяжести, тогда условіе равновѣсія грузовъ P и p нѣсколько сложнѣе. Пусть (фиг. 32) центръ тяжести находится въ C на разстояніи a отъ точки опоры. Явленіе очевидно будетъ одно и тоже, еслибы прутъ не имѣлъ вѣса, а въ точкѣ o былъ привѣшенъ нѣкоторый грузъ M. Грузъ P долженъ уравновѣшивать два груза: p и M. Можемъ разсматривать грузъ P состоящимъ изъ двухъ частей Q и q, изъ которыхъ Q уравновѣшиваетъ грузъ p, а q уравновѣшиваетъ грузъ M. Условія равновѣсія будутъ, если назовемъ буквою l плечо соотвѣтствующее грузу P, буквою L плечо соотвѣтствующее грузу p и буквою a разстояніе центра тяжести o отъ точки опоры:

Фиг. 32.

$$Q.\,l = p.\,L$$
$$q.\,l = M.\,a$$

или, сложивъ:

$$(Q + q).\,l = p.\,L + M.\,a\,, \quad \text{то есть}$$
$$P.\,l = p.\,L + M.\,a.$$

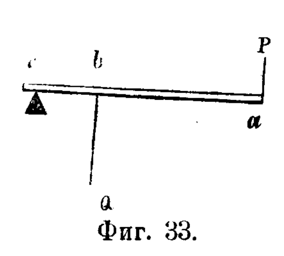
§ 10. Задачи. Двѣ силы въ m и n килограммовъ уравновѣшиваются на математическомъ рычагѣ; разстояніе между ними равняется метру. Найти положеніе точки опоры.

Прутъ данной длины лежитъ концами на двухъ точкахъ опоры. На немъ на разстояніи a отъ первой точки опоры помѣщенъ грузъ M. Какое давленіе испытываетъ первая и какое

вило рычага и опытомъ показалъ что помощію механизма основаннаго на рычагѣ можно силою руки притянуть къ берегу большую галеру (говорилъ что сдвинулъ бы землю еслибы имѣлъ точку опоры); открылъ потерю вѣса тѣла въ водѣ и законы плаванія тѣлъ (восклицаніе: *нашелъ, нашелъ*), изобрѣлъ винтъ для поднятія воды, зажигательныя зеркала, разрушительныя военныя машины. Въ области математики изслѣдовалъ шаръ, цилиндръ, элипсоидъ и другія геометрическія тѣла. Убитъ при осадѣ Сиракузъ Римлянами.

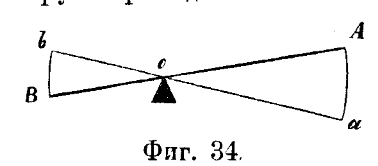
вторая точки опоры? Примѣненіе къ случаю двухъ рабочихъ несущихъ грузъ на перекладинѣ.

§ 11. Рычагъ втораго рода. Правило рычага прилагается и къ тому случаю, когда точки приложенія силъ находятся по одну сторону точки опоры. Положимъ, что на математическій рычагъ cba (фиг. 33), котораго точка опоры въ c, дѣйствуютъ силы Q и P, направленныя Q внизъ, P вверхъ. Чтобы эти силы уравновѣшивались онѣ должны удовлетворять условію: $P.\,ac = Q.\,bc$.



Фиг. 33.

§ 12. Рычагъ разсматриваемый какъ машина. Должно замѣтить что когда при помощи рычага малая сила поднимаетъ большой грузъ, то точка гдѣ приложена сила и точка гдѣ приложенъ груъ грузъ проходятъ весьма неравное пространство. Въ то время какъ точка A, (фиг. 34) опускаясь, проходитъ дугу Aa, точка B, поднимаясь, описываетъ дугу Bb. Дуга Aa во сколько разъ болѣе дуги Bb, во сколько плечо Ao, гдѣ приложена меньшая сила, болѣе плеча Bo, гдѣ дѣйствуетъ большой грузъ.

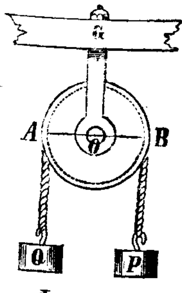


Фиг. 34.

Рычагъ представляетъ примѣръ *машины*, то-есть орудія помощію котораго можно производить механическую работу. Работать въ механическомъ смыслѣ значитъ что-нибудь передвигать вопреки препятствію. О работѣ мы судимъ съ одной стороны по величинѣ побѣждаемаго препятствія, съ другой по протяженію, на какомъ это препятствіе побѣждается, то есть по тому какъ великъ путь пройденный работающимъ двигателемъ вопреки этому препятствію. Я подымаю рукою грузъ, вѣсъ этого груза есть препятствіе, которое я долженъ побѣдить усиліемъ руки. Чтобы судить о произведенной мною работѣ, мало знать величину поднятаго груза, надо знать еще на какую высоту онъ поднятъ. Единицею работы считается поднятіе единицы вѣса на единицу высоты. Если за единицу вѣса примемъ килограммъ, а за единицу длины метръ, то единица работы будетъ поднятіе одного килограмма на высоту метра: одинъ *килограмметръ*. Если за единицу вѣса примемъ пудъ, а за единицу длины футъ, то единица работы будетъ *пудофутъ*. Работа въ 120 килограмметровъ есть поднятіе 120 килограммовъ на высоту 1 метра, или поднятіе 1 килограмма на высоту

120 метровъ. Двѣ эти работы принимаются одинаковыми. Тоже, очевидно, работу представляетъ поднятіе 12 килограммовъ на высоту 10 метровъ и т. д.

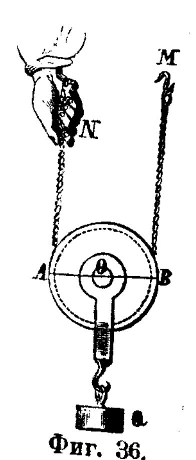
Силы которыми производится работа, т. е. побѣждается препятствіе, называются двигателями. Сила человѣка, лошади (живые двигатели), вѣсъ опускающагося внизъ груза, текущая вода, нагрѣтый воздухъ, паръ, — вотъ различные примѣры двигателей. Въ большинствѣ случаевъ двигатель не можетъ непосредственно дѣйствовать на побѣждаемое препятствіе. Нѣтъ, напримѣръ, возможности прямымъ дѣйствіемъ потока воды или вѣтра на пилу заставить ее пилить дрова; но вѣтеръ своимъ давленіемъ на крылья мельницы, вода на лопаты колеса легко могутъ привести въ движеніе мельницу и колесо, а соединяя опредѣленнымъ образомъ ось колеса или ось крыльевъ съ пилою, можно заставить ее двигаться взадъ и впередъ, и пилить. Тѣ посредствующія части, однѣ неподвижныя, другія подвижныя, при помощи которыхъ дѣйствіе двигателя передается дѣйствующему орудію составляютъ *машину*.



Фиг. 35.

§ 13. Теорія блока приводится къ теоріи рычага. Теорію равновѣсія на блокѣ можно привести къ теоріи рычага и разсматривать точку О (фиг. 35), гдѣ проходитъ ось блока, какъ точку опоры рычага АВ, гдѣ А и В суть точки приложенія силъ Р и Q. Такъ какъ ОА=ОВ, то слѣдов. блокъ есть рычагъ равноплечій; потому для равновѣсія необходимо чтобы сила Р была равна силѣ Q.

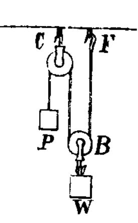
Фиг. 36 изображаетъ такъ-называемый *подвижной блокъ*. Блокъ АОВ, къ которому привѣшенъ грузъ, лежитъ на нити, за одинъ конецъ которой тянетъ сила, тогда какъ другой, М, укрѣпленъ неподвижно. Въ такомъ случаѣ сила Р, потребная для удержанія въ равновѣсіи груза Q, должна быть по величинѣ вдвое менѣе его вѣса. Дѣйствительно, точку В (фиг. 36.) можно разсматривать, какъ точку опоры рычага АВ, на короткое плечо котораго ВО дѣйствуетъ сила Q, а на длинное АВ сила Р. Такъ какъ АВ діаметръ, ВО радіусъ блока, то видимъ, что длинное плечо разсматриваемаго рычага вдвое болѣе короткаго. Слѣд. для равновѣсія, сила, дѣйствующая на плечо АВ, должна быть вдвое менѣе силы, дѣйствующей на ВО.



Фиг. 36.

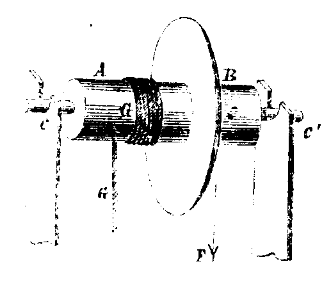
Если мы, какъ на фиг. 37, перекинемъ нить чрезъ второй (неподвижный) блокъ С,

то грузъ *P* можетъ удержать въ равновѣсіи грузъ *W*, который вдвое его больше.



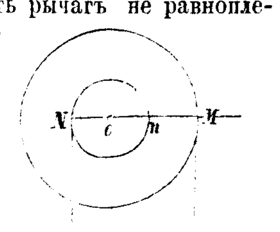
Фиг. 37.

§ 14. Теорія ворота приводится къ теоріи рычага. Воротъ состоитъ изъ вала, вращающагося на оси (фиг. 38) и соединеннаго съ колесомъ, составляющимъ съ нимъ одно тѣло. На валѣ навернута веревка, на конецъ которой дѣйствуетъ поднимаемый грузъ или вообще сила, представляющая собою преодолѣваемое сопротивленіе. Сила движущая дѣйствуетъ на окружность колеса. Представимъ себѣ что она дѣйствуетъ при помощи намотанной на колесо веревки и сама состоитъ изъ нѣкотораго груза, повѣшеннаго на концѣ этой веревки.



Фиг. 38.

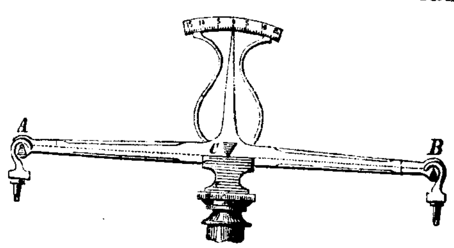
Воротъ можно разсматривать какъ рычагъ; точка *o*, центръ сѣченія вала (фиг. 39, соотвѣтствуетъ точкѣ опоры рычага. Сила Q дѣйствуетъ на плечо *oN*, гдѣ *oN* есть радіусъ вала; сила *P* на плечо *oM*, гдѣ *oM* есть радіусъ колеса. Слѣд., воротъ есть рычагъ не равноплечій, и условіе равновѣсія состоитъ въ томъ, что на длинное плечо долженъ дѣйствовать меньшій грузъ. Такимъ образомъ, если радіусъ колеса вдвое больше радіуса вала, то грузъ въ одинъ килограммъ, привѣшенный къ веревкѣ колеса, въ состояніи уравновѣсить два килограмма, привѣшенные къ веревкѣ вала.



Фиг. 39.

§ 15. Вѣсы. Вѣсы состоятъ изъ негибкаго коромысла (фиг. 40), лежащаго, помощію продѣланной чрезъ него стальной призмы или ножа С, на двухъ маленькихъ плоскостяхъ изъ закаленной стали или агата, помѣщенныхъ одна передъ коромысломъ, другая сзади его. Такимъ образомъ коромысло можетъ качаться вокругъ острія ножа и обнаруживающееся при этомъ треніе ничтожно. На концахъ коромысла привѣшены

чашки, назначенныя для помѣщенія груза и разновѣсковъ. Крючки, на которыхъ висятъ чашки, под-



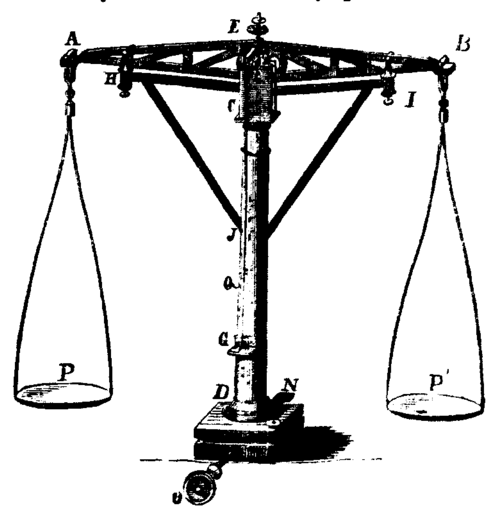
Фиг. 40.

держиваются также при помощи стальныхъ призмъ или ножей A и B, обращенныхъ ребромъ вверхъ. Ребра призмъ параллельны между собою и помѣщаются въ одной плоскости.

§ **16. Условія вѣрности и чувствительности вѣсовъ.** Вѣсы должны удовлетворять условіямъ *вѣрности* и *чувствительности*. Если вѣсы *вѣрны*, то когда чашки ихъ не обременены грузами, коромысло должно оставаться въ горизонтальномъ положеніи и стрѣлка его показывать на нуль. Этому условію легко удовлетворить, — еслибы оно первоначально не было выполнено, — увеличивая или уменьшая вѣсъ одной изъ чашекъ. Горизонтальное положеніе коромысла не должно измѣниться и въ томъ случаѣ, если чашки обременены *равными* грузами. Если вѣсы склоняются въ какую-нибудь сторону, значитъ они не вѣрны. Но не должно забывать что ошибка можетъ быть отъ самыхъ гирекъ или *разновѣсковъ*, которые мы кладемъ на чашки и которые могутъ быть не вполнѣ вѣрны. Потому лучше испытаніе вѣрности дѣлать помощію одной гири. Помѣстимъ на одну чашку гирю, напримѣръ, въ килограммъ. На другую чашку поставимъ тарелку съ пескомъ, котораго насыплемъ столько, чтобы было равновѣсіе. Перемѣстивъ затѣмъ тарелку на ту чашку, гдѣ прежде была гиря, и гирю на

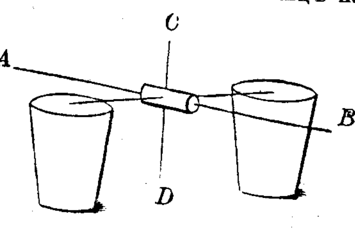
ту гдѣ была тарелка, мы должны найти, если вѣсы вѣрны, что равновѣсіе сохранится. Вѣрность вѣсовъ свидѣтельствуетъ о равенствѣ плечъ ихъ рычага.

Если вѣсы *чувствительны* то при самой незначительной разницѣ грузовъ коромысло должно наклониться въ сторону бóльшаго груза. Чувствительность зависитъ отъ длины коромысла и его легкости совокупно съ чашками; чѣмъ длиннѣе и легче коромысло, тѣмъ вѣсы чувствительнѣе. Она зависитъ также отъ разстоянія центра тяжести коромысла отъ точки опоры. Чѣмъ ближе центръ тяжести коромысла къ его точкѣ опоры, тѣмъ значительнѣе отклоненіе при данной разности грузовъ. Коромысло вмѣстѣ съ тѣмъ не должно сгибаться при обремененіи грузами, ибо иначе при разномъ обремененіи, вѣсы будутъ представлять не одинаковый рычагъ и не будутъ точны. До нѣкоторой степени можно соединить длину и легкость съ негибкостію, придавъ коромыслу форму удлиненнаго ромба (фиг. 41) изъ бронзы или стали и вырѣзавъ бóльшую часть его внутренности.



Фиг. 41.

Помощію слѣдующаго опыта можно показать, какое вліяніе положеніе центра тяжести коромысла имѣетъ на его равновѣсіе. Проколовъ пробку тремя вязальными спицами, какъ показано иа фиг. 42, помѣстимъ концы одной изъ спицъ на края двухъ стеклянныхъ стакановъ. Эта спица будетъ представлять ось коромысла. Перпендикулярная къ ней спица AB изображаетъ линію коромысла. Поднимая выше или опуская ниже спицу CD. можемъ перемѣщать положеніе центра тяжести всей системы, представляющей коромысло. Понятно что, когда большая половина спицы CD выше пробки, равновѣсіе будетъ неустойчивое; если она будетъ находиться ниже пробки, то устойчивое. Повышая и понижая спицу CD, можно достигнуть также безразличнаго равновѣсія.



Фиг. 42.

§ 17. Какъ производится взвѣшиваніе; двойное взвѣшиваніе. Самое взвѣшиваніе производится такимъ образомъ. Положивъ тѣло на одну чашку, на другую кладутъ разновѣски начиная съ болѣе значительныхъ. Если окажется, напримѣръ, что вѣсъ тѣла менѣе 6 и болѣе 5 килограммовъ, то употребляя послѣдовательно гектограммы (сотни граммовъ), декаграммы (дестяки граммовъ), граммы, заключаемъ тѣло послѣдовательно между болѣе и болѣе тѣсными предѣлами. Окажется, напримѣръ, что вѣсъ тѣлъ заключается между 5,3 и 5,4 килогр., потомъ между 5,37 и 5,38; 5,371 и 5,372 килогр., и т. д. пока дойдемъ до предѣловъ чувствительности вѣсовъ, когда прибавленіе или снятіе малаго разновѣска не производитъ замѣтнаго вліянія.

Пользуясь методой *двойнаго взвѣшиванія*, можно произвести точное взвѣшиваніе и на невѣрныхъ вѣсахъ. Взвѣшиваемое тѣло помѣщаютъ на одну изъ чашекъ вѣсовъ; на другую кладутъ кусочки свинца, дробинки, песокъ и т. п., въ такомъ количествѣ, чтобы коромысло осталось въ равновѣсіи. Снимаютъ взвѣшиваемое тѣло и *на мѣсто его* кладутъ разно-

вѣски такъ чтобы равновѣсіе опять возстановилось. Понятно что разновѣски, замѣщая собою тѣло, показываютъ его истинный вѣсъ.

§ 18. Удѣльный вѣсъ или плотность тѣлъ. *Удѣльнымъ вѣсомъ* или *плотностію* называется число показывающее отношеніе вѣса даннаго тѣла къ вѣсу такого же объема воды. Такъ плотность желѣза равняется 8. Это значитъ, что если бы мы имѣли, напримѣръ, желѣзный шаръ и такой же величины шаръ водяной, то первый былъ бы въ 8 разъ тяжелѣе втораго. Плотность масла есть 0,92. Значитъ, если бы мы имѣли сосудъ вмѣщающій 100 граммовъ воды, то вѣсъ масла наполняющаго такой сосудъ былъ бы 92 грамма.

Таблица плотностей.

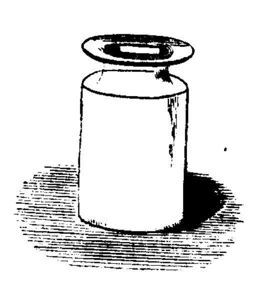
Алкоголь или чистый спиртъ	0 79
Прованское масло	0.92
Ртуть	13.60
Платина	20,85
Серебро	10.41
Золото	19.10
Желѣзо	7.84
Мѣдь	8,79
Пробка	0,17 до 0,25
Стекло зеркальное	2.45
Воскъ	0,97

§ 19. Опредѣленіе плотности по способу флакона. Для опредѣленія плотности тѣла мы должны найти его вѣсъ, потомъ вѣсъ такого количества воды, котораго объемъ равенъ объему тѣла, и раздѣлить первое число на второе.

Такъ, для опредѣленія плотности жидкаго тѣла достаточно наполнить стклянку испытуемой жидкости до опредѣленнаго уровня и найти ея вѣсъ (для чего должно свѣсить стклянку пустую, а потомъ наполненную и вычесть первый вѣсъ изъ втораго). Затѣмъ, наполнивъ ту же стклянку и до того же уровня во-

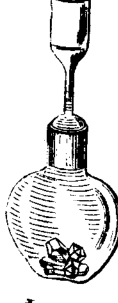
дою, должно найти вѣсъ воды. Отношеніе вѣса жидкости къ вѣсу воды дастъ плотность жидкости.

Стклянки или флаконы назначаемые для опредѣленія плотности твердыхъ тѣлъ могутъ имѣть различную форму. Если кусокъ тѣла довольно великъ, то можно употреблять сосудъ (фиг. 43) съ довольно широкимъ отверстіемъ, прикрытымъ пришлифованнюю пластинкой стекла. Сосудъ наполняется водою до верху, такъ что она почти переливается черезъ край, и осторожно закрывается пластинкой, которая надвигается съ боку, сливая лишнюю воду. Сосудъ, обтертый снаружи пропускною бумагой, помѣщаютъ на чашку вѣсовъ, положивъ рядомъ съ нимъ изслѣдуемое тѣло. Количество разновѣсковъ, помѣщенныхъ на другой чашкѣ, показываетъ совокупный вѣсъ тѣла и сосуда, съ водой. Снявъ сосудъ съ чашки вѣсовъ, его открываютъ и внутрь погружаютъ тѣло. Понятно что при этомъ тѣло, входя, вытѣсняетъ равный себѣ объемъ воды. Снова закрывъ отверстіе съ прежними предосторожностями, ставятъ флаконъ на чашку вѣсовъ. Количество разновѣсковъ, прибавленное для возстановленія равновѣсія, прямо покажетъ вѣсъ объема воды выгнаннаго погруженнымъ тѣломъ. Раздѣливъ вѣсъ вытѣсненной воды на вѣсъ тѣла, опредѣленный отдѣльно до погруженія, получаемъ плотность тѣла.



Фиг. 43.

Если кусочекъ тѣла малъ, то пользуются сосудами съ узкимъ горломъ (фиг. 44), закрываемымъ хорошо пришлифованною стеклянною пробкою, имѣющею внутри каналъ и оканчивающеюся тонкою трубкой съ воронкообразнымъ расширеніемъ на концѣ. Когда пробка погружается въ горлышко стклянки, то жидкость поднимается въ каналѣ. Уда-



Фиг. 44.

ляя избытокъ жидкости съ помощью пропускной бумаги, оставляютъ ея столько, чтобъ она доходила до опредѣленной черты.

Замѣтимъ что вѣсъ единицы объема тѣла бываетъ различенъ при разныхъ степеняхъ тепла. Такъ, теплая ртуть легче холодной. Потому сдѣланное выше опредѣленіе термина *удѣльный вѣсъ* не полно. Должно добавить, что испытуемое тѣло берется при температурѣ таянія льда, а вода въ состояніи наибольшей плотности. Объ этомъ въ ученіи о теплотѣ.

Найдя что кубическій футъ желѣза вѣситъ въ 8 разъ болѣе чѣмъ кубич. футъ воды, заключаемъ что *количество вещества* заключающагося въ куб. футѣ желѣза или *масса* желѣза въ 8 разъ болѣе *массы воды*. Впрочемъ, хотя такимъ образомъ о *массѣ* тѣла судимъ по его вѣсу, однако два эти понятія не должны быть смѣшиваемы. Вѣсъ даннаго тѣла можетъ быть различенъ смотря по тому гдѣ помѣщено это тѣло, масса же остается неизмѣнною. Кусокъ мѣди который на землѣ вѣситъ фунтъ вѣсилъ бы на солнцѣ болѣе полупуда; между тѣмъ масса его осталась бы тою же самою. Строго говоря, къ сравненію массъ относится слово *плотность*, слово *удѣльный вѣсъ* къ сравненію вѣсовъ.

§ 20. Вычисленіе вѣса даннаго объема тѣла. Зная число выражающее *плотность* тѣла, можно рѣшить задачу о томъ какой вѣсъ будетъ имѣть данный объемъ этого тѣла. Пусть, напримѣръ, требуется найти вѣсъ 3 кубич. футовъ золота. Извѣстно, что кубическій футъ воды вѣситъ 69,2 фунта; 3 куб. фута воды вѣсятъ 207,7 фунта. А такъ какъ золото въ 19,1 разъ плотнѣе воды, то 3 куб. фута золота будутъ вѣсить $69{,}2 \times 3 \times 19{,}1 = 3965{,}16$ фунтовъ. Вообще, если назвать вѣсъ единицы объема воды Δ, то вѣсъ P объема V тѣла, котораго плотность есть D, будетъ

$$P = V.\ D.\ \Delta.$$

Задача облегчается въ случаѣ метрической системы мѣръ, при которой вѣсъ кубическаго центиметра воды принимается за единицу вѣса и называется *граммомъ*. Кубич. центиметръ воды вѣситъ слѣдов. *граммъ*, кубическій дециметръ (1000 куб. центиметровъ) или *литръ* вѣситъ 1 *килограммъ*; кубич. метръ вѣситъ 1000 килограммовъ. Потому въ случаѣ метрической системы $\Delta = 1$, и формула будетъ

$$P = V.\ D.$$

Вѣсъ будетъ выражаться въ граммахъ, если объемъ выраженъ въ куб. центиметрахъ, вѣсъ выразится въ килограммахъ если объемъ въ литрахъ, въ тысячахъ килограммовъ если объемъ въ куб. метрахъ. Такъ, чтобъ найти вѣсъ 5 литровъ ртути, достаточно 5 помножить на 13,6; получимъ число 68, означающее килограммы. Слѣд. 5 литровъ ртути вѣсятъ 68 килограммовъ.

§ 21. Паденіе тѣлъ въ воздухѣ и пустотѣ. Не поддерживаемыя тѣла падаютъ. Ежедневный опытъ пока-

зываетъ что въ воздухѣ не всѣ тѣла падаютъ съ одинаковою скоростью. Бумажка, напримѣръ, падаетъ гораздо медленнѣе чѣмъ кусокъ металла. Но не должно думать что разница въ скорости паденія различныхъ тѣлъ зависитъ отъ разницы ихъ вѣса. Она зависитъ отъ сопротивленія, какое воздухъ оказываетъ падающему тѣлу: въ пространствѣ безвоздушномъ, въ *пустотѣ*, всѣ тѣла падаютъ съ одинаковою скоростію.

Помощію *воздушнаго насоса*, дающаго возможность вытянуть воздухъ изъ даннаго пространства, можно прямымъ опытомъ доказать справедливость высказаннаго положенія.

Берутъ (фиг. 45) трубку, около 2-хъ метровъ длиною, закрытую съ обоихъ концовъ мѣдными оправами, изъ которыхъ одна снабжена краномъ. Въ трубку помѣщаютъ нѣсколько тѣлъ различнаго вѣса: кусочекъ свинца, бумажку, перо и. т. д., и вытягиваютъ воздухъ. Быстро опрокинувъ такую пустую трубку, замѣчаютъ что въ ней всѣ тѣла падаютъ съ одинаковою скоростію. Снарядъ въ этой формѣ удобенъ, потому что опытъ можно повторять столько разъ сколько угодно. Впустивъ воздухъ и повторивъ опытъ, легко обнаружить разницу паденія.

Фиг. 45.

Кромѣ этого прямаго опыта можно привести много другихъ подтверждающихъ, хотя и не столь прямо, то же положеніе. Такъ, шары изъ камня, свинца, мѣди весьма различнаго вѣса не представляютъ замѣтной разницы въ скорости паденія. Листъ бумаги падаетъ быстрѣе, если онъ смятъ

въ комокъ, чѣмъ когда онъ развернутъ, хотя его вѣсъ не измѣнился. Кружокъ изъ бумаги и монета, будучи пущены отдѣльно, падаютъ съ весьма различною скоростію: монета гораздо быстрѣе бумажки. Но если бумажку положить на монету, то монета и бумажка упадутъ въ одно время на землю. Эти явленія легко объясняются сопротивленіемъ какое оказываетъ воздухъ движенію падающаго тѣла. Это сопротивленіе больше когда листъ развернутъ, чѣмъ когда онъ сжатъ въ комокъ. Монета, падая предъ бумажкой, разсѣкаетъ воздухъ, и бумажка, не встрѣчая сопротивленія, падаетъ такъ, какъ бы она падала, еслибы не было воздуха.

Присутствіе воздуха есть причина того что нѣкорыя тѣла, хотя имѣютъ вѣсъ, однако не только не падаютъ, но и поднимаются вверхъ, напримѣръ, дымъ, воздушный шаръ. Это происходитъ отъ той же причины, отъ которой кусокъ дерева, погруженный въ воду, вмѣсто того чтобъ опускаться внизъ, всплываетъ наверхъ.

§ 22. Галилей о паденіи тѣлъ въ воздухѣ и пустотѣ. Открытіе истинныхъ законовъ паденія тѣлъ принадлежитъ Галилею. Они изложены въ его знаменитомъ сочиненіи *Разговоры о двухъ новыхъ ученіяхъ въ механикѣ*, написанномъ въ формѣ бесѣды между тремя лицами *). Въ эпоху Галилея воздушный на-

---

*) Галилей родился въ Пизѣ 1564 года, учился въ Пизанскомъ университетѣ, гдѣ потомъ былъ профессоромъ. Галилей основатель современной механики. Ему принадлежитъ открытіе законовъ паденія тѣлъ и качанія маятника. Услыхавъ что въ Голландіи дѣлаютъ трубки позволяющія разсматривать отдаленные предметы, онъ открылъ такое соединеніе стеколъ (Галилеева трубка), которое позволило ему устроить зрительную трубу для наблюденія небесныхъ тѣлъ. Онъ открылъ горы на лунѣ, спутниковъ Юпитера, фазы Венеры, солнечныя пятна и расширилъ для ума человѣческаго предѣлы вселенной, показавъ что, кромѣ видимыхъ простымъ глазомъ, существуетъ безчисленное множество звѣздъ. Онъ держался ученія Коперника о движеніи земли и подтвердилъ его многими физическими соображеніями изложенными въ сочиненіи (1632) *Діалоги о Птоломеевой и Копер-*

сосъ не былъ еще извѣстенъ, и чтобъ доказать положеніе о томъ что тѣла въ пустотѣ падаютъ съ одинаковою скоростію, онъ прибѣгалъ къ слѣдующимъ соображеніямъ, вложеннымъ въ уста дѣйствующихъ лицъ *Разговоровъ:*

„*Семпличіо*... Аристотель учитъ что различно тяжелыя тѣла движутся въ одной и той же средѣ съ различными скоростями, прямо пропорціональными вѣсу тѣлъ, такъ что тѣло, напримѣръ, въ десять разъ тяжелѣйшее другаго движется въ десять разъ скорѣе.

„*Сальвіати*... Подозрѣваю что Аристотель не повѣрялъ опытомъ этого закона: не пускалъ съ высоты, напримѣръ ста локтей, двухъ камней, изъ которыхъ одинъ былъ бы въ десятеро тяжелѣе другаго, и не наблюдалъ разницы въ скорости ихъ паденія, т. е. чтобъ первый успѣлъ достигнуть земли, между тѣмъ какъ второй не пробѣжалъ и десяти локтей...

„*Сагредо*. Я производилъ подобный опытъ и могу увѣрить, что пушечное ядро, вѣсомъ во сто, двѣсти и болѣе фунтовъ, при достиженіи земли даже на одну ладонь не упреждаетъ полуфунтовую мушкетную пулю, хотя были пущены одновременно съ значительной высоты, напримѣръ двухъ сотъ локтей...

„*Сальвіати*. Не нужно никакихъ опытовъ, а довольно краткаго размышленія, чтобы убѣдиться въ несправедливости ученія Аристотеля... Пусть даны намъ два тѣла, природныя скорости которыхъ различны. Соединимъ оба тѣла въ одно; тогда движеніе быстрѣйшаго должно замедляться движеніемъ менѣе быстраго, и наоборотъ движеніе менѣе быстраго должно ускориться движеніемъ болѣе быстраго... Возьмемъ большой камень, природная скорость котораго восемь локтей и, другой малый, природная скорость котораго пусть только четыре... Соединимъ ихъ вмѣстѣ. По доказанному скорость ихъ совокупнаго движенія будетъ менѣе восьми локтей. Но вѣдь оба камня сложенные вмѣстѣ составляютъ одинъ камень бóльшій того у котораго природная скорость равна восьми локтямъ; слѣдовательно большой камень долженъ двигаться медленнѣе малаго, что̀ прямо противно вашему предположенію. Вотъ какимъ образомъ изъ предположенія будто бóльшая тяжесть движется скорѣе чѣмъ меньшая, я заключаю что бóльшая тяжесть движется медленнѣе...

„*Семпличіо*... Все таки мнѣ не вѣрится, чтобъ капля свинца и пушечное ядро падали съ одною и тою же скоростію.

„*Сальвіати*. Скажите лучше: крошечная песчинка и мельничный жерновъ...

никовой системѣ. Сочиненіе было осуждено римскою инквизиціею, Галилей подвергся гоненію и на колѣняхъ долженъ былъ отречься отъ ученія о движеніи земли, признаннаго тогда еретическимъ. Слѣпой съ 1636 года, Галилей умеръ въ 1642 году.

„*Сагредо*. Не думаю, чтобы вы старались насъ убѣдить что пробка быстро какъ свинецъ.

„*Сальвіати*... Еслибы устранить сопротивленіе среды, всѣ тѣла падали бы съ равными скоростями.

„*Семпличіо*. Г. Сальвіати, подумайте, что̀ вы сказали! Ну можно ли повѣрять, что въ одномъ и томъ же пустомъ пространствѣ прядь льна будетъ падать также скоро какъ и свинцовая пластинка?

„*Сальвіати*... Для этого необходимо пространство въ которомъ совершенно не было бы воздуха и всякаго другаго тѣла, хотя бы тонкаго и уступчиваго. Но такого пространства нѣтъ, и потому намъ остается наблюдать что̀ случается въ средахъ тонкихъ и мало сопротивляющихся сравнительно съ тѣмъ что бываетъ въ средахъ менѣе тонкихъ и болѣе сопротивляющихся. Находимъ что съ уменьшеніемъ плотности среды уменьшается и разность въ скоростяхъ падающихъ тѣлъ... Изъ этого можно, мнѣ кажется, съ большою вѣроятностію заключить „что въ пустотѣ тѣла падали бы со скоростію вполнѣ одинаковою..." Всякое тѣло по тайному закону природы обладаетъ стремленіемъ падать къ общему центру всѣхъ тяжестей, къ центру земнаго шара, и притомъ непрерывно и равномѣрно ускоряющимся движеніемъ, т. е. такъ что въ равныя времена прибавляются равныя степени скорости Разумѣется, это справедливо когда удалены всѣ случайныя и внѣшнія препятствія. Одно изъ такихъ неизбѣжныхъ препятствій есть сопротивленіе оказываемое средою, когда падающее тѣло разсѣкаетъ ее и расталкиваетъ въ стороны. Всякая среда, какъ бы ни была жидка, уступчива и покойна, сопротивляется полету тѣла то болѣе, то менѣе, смотря по тому медленнѣе или поспѣшнѣе должна разступиться, а такъ какъ, по сказанному, тѣло движется непрерывно ускоряясь, то слѣдовательно ему встрѣчается все бóльшее и бóльшее препятствіе со стороны среды и наконецъ сопротивленіе достигаетъ такой значительности, что уничтожаетъ ускореніе, и тѣло должно идти равномѣрно не прекращая этой равномѣрности."

§ 23. Какъ изслѣдуются законы паденія тѣлъ; скорость падающаго тѣла постоянно возрастаетъ во время паденія. Подъ именемъ законовъ паденія тѣлъ разумѣются законы относящіеся къ паденію въ пустотѣ, общіе для всѣхъ тѣлъ. Чтобы вывести эти законы нѣтъ необходимости производить опыты въ безвоздушномъ пространствѣ, что̀ было бы крайне затруднительно. Достаточно изучить паденіе въ воздухѣ, не съ очень значительной высоты, такихъ тѣлъ которыя при небольшомъ объемѣ имѣютъ значительный вѣсъ и легко побѣждаютъ сопротивленіе воздуха, такъ какъ оно

на незамѣтную лишь долю уменьшаетъ гонящее дѣйствіе тяжести. Не мало, впрочемъ, затрудненій представляютъ и эти опыты, такъ какъ паденіе тѣлъ свершается очень быстро: тѣло, чтобъ упасть съ высоты 5 метровъ (или 16 футовъ), употребляетъ съ небольшимъ секунду времени. Но уже грубое испытаніе даетъ понятіе о томъ что движеніе падающаго тѣла не есть движеніе *равномѣрное* (то-есть такое, въ которомъ въ равныя времена проходятся равныя пространства). Движеніе падающаго тѣла постоянно ускоряется во все время паденія. Это слѣдуетъ уже изъ того что падающая гиря тѣмъ сильнѣе ударяется о землю чѣмъ значительнѣе высота, съ какой она падаетъ; а извѣстно, что сила удара наносимаго даннымъ движущимся тѣломъ зависитъ отъ скорости съ какою оно движется: пуля пущенная слабою рукою ребенка производитъ не то дѣйствіе, какъ пуля стремительно выброшенная выстрѣломъ изъ дула ружья.

§ 24. Опыты Галилея надъ паденіемъ тѣлъ по наклонной плоскости и найденный имъ законъ. Галилей доказалъ что пространства проходимыя падающимъ тѣломъ въ послѣдовательные равные промежутки времени (считая съ начала движенія) относятся между собою какъ рядъ нечетныхъ чиселъ 1, 3, 5, 7, 9, 11.... Такъ, напримѣръ, падающее тѣло въ первую 0,1 секунду проходитъ 5 центиметровъ, (такъ приблизительно бываетъ при свободномъ паденіи), во вторую 0,1 секунду проходитъ 15 центиметровъ, въ третью 25, въ четвертую 35 и т. д., вообще если въ первый промежутокъ времени пройдено пространство a, то во второй проходится $3a$, въ третій $5a$ и т. д.

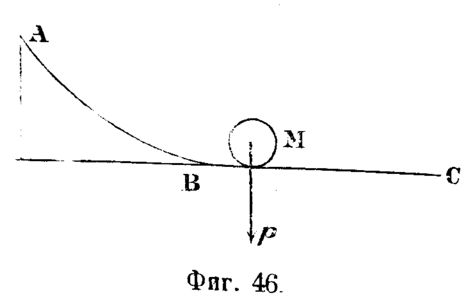
Законъ этотъ можно выразить иначе. Въ первый промежутокъ времени пройдено a, во второй $3a$, слѣдовательно вмѣстѣ въ два первыя промежутка пройдено $a+3a=4a$. Подобнымъ образомъ въ три промежутка получимъ $a+3a+5a=9a$; въ четыре $16a$, въ пять

$25a$ и т. д., гдѣ $4=2^2$, $9=3^2$, $16=4^2$, $25=5^2$. Слѣдовательно *пространство, считая съ начала движенія, возрастаетъ пропорціонально квадрату времени.* Галилей открылъ этотъ законъ, изучая движеніе тѣла падающаго по наклонной плоскости, именно шара катящагося по прямому жолубу. Такъ какъ законъ остается вѣрнымъ при всякомъ наклонѣ, то можно было заключить что онъ вѣренъ и для отвѣснаго паденія.

Свои опыты Галилей производилъ слѣдующимъ образомъ. „Въ деревянномъ брусѣ, говоритъ онъ, около 12 локтей длиною.. на верхней сторонѣ былъ вырубленъ канальчикъ шириною менѣе одного пальца (дюйма), проведенный возможно прямо и обклеенный пергаменомъ, хорошо вылощеннымъ, чтобы сдѣлать его возможно гладкимъ... Поднявъ надъ горизонтальною плоскостью одинъ конецъ бруса, на одинъ или два локтя по произволу, я пускалъ по такому наклонному жолобу бронзовый круглый и хорошо отполированный шарикъ, наблюдая нижеописаннымъ способомъ время которое онъ употреблялъ чтобы пробѣжать весь каналъ, и повторяя опытъ много разъ чтобы хорошо увѣриться въ количествѣ времени, въ которомъ никогда не находилось разницы ни даже на одну десятую часть удара пульса... Пустивъ тотъ же шаръ по длинѣ равной *четверти* длины всего канала и измѣривъ время, я нашелъ что оно въ точности равнялось *половинѣ* времени, какое употреблялось для прохожденія цѣлаго канала. Дѣлая опыты съ другими длинами канала и сравнивая время соотвѣтствующее цѣлой длинѣ съ временемъ соотвѣтствующимъ половинѣ, $^2/_3$, $^3/_4$ или иной какой долѣ длины, изъ опытовъ сто разъ повторенныхъ, я всегда находилъ что проходимыя пространства относятся между собою какъ квадраты временъ; и такъ было при всѣхъ наклоненіяхъ бруса съ каналомъ по которому пускался шарикъ. Что касается до измѣренія времени, то вверху было привязано большое ведро полное воды, въ дно котораго была впаена тонкая трубочка. Чрезъ эту трубочку вода вытекала тонкою струей и собиралась въ маленькую чашку въ продолженіи того времени какое шаръ употреблялъ, чтобы пройти весь каналъ или какую либо его часть. Небольшія количества воды, собранныя такимъ образомъ свѣшивались на точнѣйшихъ вѣсахъ, и разности и отношенія опредѣленныхъ такимъ образомъ вѣсовъ воды давали разности и отношенія временъ.“

§ 25. Движеніе сохраняется и послѣ того какъ прекратилось дѣйствіе произведшей его причины. Въ явленіи паденія тѣлъ мы имѣемъ примѣръ движенія происходящаго отъ дѣйствія *силы* на тѣло. Тѣло изъ состоя-

нія покоя приходитъ въ движеніе, потому что на него дѣйствуетъ сила. Сила эта продолжаетъ дѣйствовать и во все время движенія, вслѣдствіе чего скорость движенія увеличивается болѣе и болѣе. Что было бы еслибы сила прекратила свое дѣйствіе и перестала гнать тѣло? Съ отвѣсно падающимъ тѣломъ мы не можемъ рѣшить этого вопроса, ибо не можемъ прекратить гонящее дѣйствіе тяжести. Но когда тѣло съ наклоннаго ската (фиг. 46) переходитъ на горизонтальную плоскость, тогда дѣйствіе тяжести будучи направлено отвѣсно перестаетъ гнать тѣло, а только прижимаетъ его къ плоскости съ бо́льшею силою чѣмъ съ какою прижимала при наклонномъ движеніи. Тѣмъ не менѣе тѣло не останавливается и нѣкоторое



Фиг. 46.

время продолжаетъ двигаться, повинуясь пріобрѣтенной скорости. Легко усмотрѣть что остановка происходитъ вслѣдствіе *тренія*, порождаемаго отъ того что тѣло прижато къ плоскости. Чѣмъ глаже поверхность тѣла и пути по которому оно катится или скользитъ, тѣмъ долже, по прекращеніи дѣйствія силы, продолжается движеніе. Еслибы треніе, а также сила сопротивленія, которое воздухъ оказываетъ движущемуся въ немъ тѣлу, могли быть вполнѣ устранены, тѣло продолжало бы вѣчно двигаться, не ослабѣвая въ скорости, т.-е. движеніемъ равномѣрнымъ. Это заключеніе изъ опыта, выведенное Галилеемъ,

выражено имъ такими словами: „Воображаю себѣ тѣло, приведенное въ движеніе на горизонтальной плоскости, при чемъ устранены всѣ препятствія движенія... Его движеніе будетъ равномѣрно и вѣчно, если плоскость простирается въ безконечность.“ Вообще тѣло приведенное въ движеніе не требуетъ дѣйствія силы, чтобы движеніе продолжалось: равномѣрное движеніе сохраняется само собою. Когда дѣйствуетъ сила, движеніе ускоряется, если только нѣтъ препятствія побѣждаемаго дѣйствіемъ силы. (Въ случаѣ препятствій движеніе можетъ быть равномѣрнымъ, не смотря на непрерывное дѣйствіе силы). Съ другой стороны, чтобы остановить движущееся тѣло необходимо такое же усиліе, какъ чтобы привести его въ движеніе. „Мы не болѣе, говоритъ Декартъ, *) употребляемъ дѣйствія, чтобы привести лодку въ движеніе, какъ чтобы остановить ее, когда она движется.“ Законъ природы указанный въ этомъ параграфѣ называется *закономъ косности или инерціи*.

§ 26. Ошибочныя сужденія о движеніи. Скажемъ нѣсколько словъ объ ошибочныхъ мнѣніяхъ о движеніи, какія раздѣлялись учеными до открытія Галилеемъ и другими великими учеными XVII вѣка истинныхъ началъ динамики (наука о движеніи). Движеніе раздѣляли на два рода: *насильственное* вслѣдствіе толчка или иного внѣшняго механическаго дѣйствія и

*) Декартъ знаменитый французскій философъ (его изреченіе: cogito ergo sum). Полагая въ основаніе объясненія явленій природы механическія начала, онъ искалъ источника всякаго рода движеній въ явленіи толчка или удара и смотрѣлъ на различныя физическія явленія какъ на виды движенія, отъ начала приданнаго частицамъ и запасъ котораго сохраняется неизмѣнно. Въ области математики, Декартъ основатель аналитической геометріи, въ области физики и астрономіи авторъ знаменитой въ свое время теоріи вихрей. Декартъ родился въ 1596 году, учился въ іезуитской коллегіи въ Ла-Флешѣ, долго путешествовалъ по Германіи, Голландіи, Италіи и Франціи; съ 1629 года поселился въ Голландіи; умеръ въ 1650 году въ Швеціи, призванный туда королевою Христиною, которой давалъ уроки философіи.

естественное, какъ движеніе планетъ, паденіе тяжелыхъ тѣлъ внизъ. Допускали что естественное движеніе, какъ начальное свойство тѣлъ, не требуетъ механическаго объясненія. Такъ, круговое движеніе небесныхъ тѣлъ считалось не нуждающимся во внѣшней причинѣ для своего поддержанія и сохраняющимся естественнымъ образомъ, по самой природѣ вещей. Подобное мнѣніе встрѣчаемъ даже у Коперника *), объяснявшаго почему движеніе земли не разстроиваетъ положенія и движенія тѣлъ на ея поверхности — тѣмъ что это движеніе естественное, принадлежащее не только цѣлому но и всякой части. Изгнаніе различенія двухъ видовъ движенія и введеніе общаго понятія *силы*, какъ причины производящей или измѣняющей движеніе, было важнымъ шагомъ въ исторіи механики.

Другое заблужденіе происходило отъ незнанія закона косности. Допускали, что когда движеніе происходитъ отъ внѣшней причины, то необходимо непрерывное дѣйствіе этой причины, и думали что движеніе неподдерживаемое тотчасъ прекращается. Къ этой мысли подавало поводъ неточное истолкованіе ежедневныхъ явленій. Чтобы везти тяжесть по горизонтальному направленію, должно употреблять постоянное усиліе, съ прекращеніемъ котораго движимое тѣло останавливается. Идущій человѣкъ также употребляетъ постоянное усиліе, чтобы двигиться, и останавливается, какъ скоро перестаетъ дѣйствовать мускусами. Но прекра-

---

*) Коперникъ, основатель истинной теоріи міра, родился въ Торнѣ въ 1[illegible]72 году, въ молодости учился въ Краковскомъ университетѣ, гдѣ получилъ степень доктора медицины. Путешествовалъ въ Италіи; вернувшись на родину получилъ должность каноника, которую сохранилъ до смерти, отдавая все свое свободное время астрономіи. Его знаменитое сочиненіе *De revolutionibus orbium coelestium* вышло въ 1643 году, и Коперникъ первый отпечатанный экземпляръ получилъ за нѣсколько часовъ до смерти.

щеніе пріобрѣтеннаго движенія въ подобныхъ случаяхъ объясняется препятствіями, какія встрѣчаетъ движущееся тѣло, и усиліе, употребляемое для поддержанія движенія, именно вызывается необходимостью побѣждать эти препятствія, непрерывно дѣйствующія во все время движенія. Не зная закона косности, принуждены были для объясненія того что брошенный камень продолжаетъ двигаться и послѣ того какъ дѣйствіе бросающей его руки прекратилось, прибѣгать (какъ Аристотель) къ дѣйствію воздуха или вообще среды, въ которой тѣло брошено.

§ 27. Законъ косности какъ первый законъ движенія. Ньютонъ *) въ своемъ твореніи „Principia mathematica philosophiae naturalis“ наименовалъ законъ косности *первымъ закономъ движенія*, и выразилъ слѣдующими словами: „*Всякое тѣло находящееся въ покоѣ или движущееся равномѣрно по прямой линіи сохраняетъ свое состояніе, если только нѣтъ силъ вынуждающихъ его перемѣнить это состояніе.* **) Такъ, брошенныя тѣла сохраняютъ свое движеніе, но сопротивленіе воздуха замедляетъ ихъ, а сила тяжести приводитъ къ землѣ. Волчокъ, котораго части, вслѣдствіе того

---

*) Ньютонъ, по общему признанію величайшій испытатель природы всѣхъ временъ и странъ, открывшій законъ тяготѣнія и сдѣлавшій вопросъ о движеніи небесныхъ тѣлъ простою задачею механики, открывшій разложеніе свѣтоваго луча призмою, изобрѣтатель (одновременно съ Лейбницемъ) вычисленія безконечно-малыхъ, родился въ 1642 году, подобно Кеплеру, слабымъ и болѣзненнымъ. Учился въ Кембриджскомъ университетѣ, гдѣ съ 1669 года сдѣлался профессоромъ математики, около этого же времени вступилъ членомъ въ Лондонское Королевское Общество, котораго потомъ въ теченіе многихъ лѣтъ былъ президентомъ и главнымъ украшеніемъ. Около 1696 г. получилъ мѣсто директора монетнаго двора съ богатымъ содержаніемъ, умеръ въ 1727 году на высотѣ славы и почестей и похороненъ въ Вестминстерскомъ аббатствѣ.

**) „Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum mutare.“

что неразрывно связаны между собою, постоянно отклоняются однѣ другими отъ прямой линіи, перестаетъ вертѣться только по тому что сопротивленіе воздуха мало-по-малу замедляетъ его. Планеты, большія массы движущіяся въ пространствѣ менѣе сопротивляющемся, долже сохраняютъ свое движеніе“...

Пояснимъ примѣры Ньютона.

§ 28. Первый примѣръ Ньютона: движеніе брошеннаго тѣла. Камень брошенный рукою, ядро стремительно вытолкнутое изъ жерла пушки давленіемъ пороха, мгновенно чрезъ воспламененіе превратившагося изъ твердаго въ газообразное состояніе, продолжаютъ двигаться и послѣ того какъ рука и порохъ прекратили свое гонящее дѣйствіе. Еслибы не было сопротивленія воздуха и тяжесть не дѣйствовала на брошенныя тѣла, то камень и ядро двигались бы равномѣрно по прямой линіи въ томъ направленіи въ какомъ брошены, и ушли бы въ пространство, безконечно удаляясь отъ земли. Но тяжесть каждый моментъ отклоняетъ брошенное тѣло отъ прямолинейнаго направленія и заставляетъ, описавъ кривой путь, упасть на землю. Сопротивленіе воздуха замедляетъ движеніе и нѣсколько измѣняетъ видъ описываемой кривой.

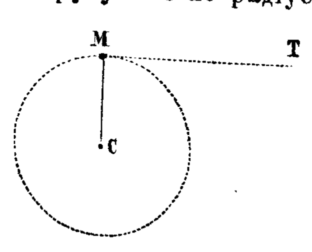
Ньютонъ первый сдѣлалъ въ высшей степени важное уподобленіе луны брошенному камню. „Представимъ себѣ, говоритъ онъ, ядро пущенное на верху горы по горизонтальному направленію съ такою скоростію что оно упадетъ на землю пролетѣвъ двѣ мили; если пустить его съ удвоенною скоростію, то оно упадетъ пробѣжавъ приблизительно четыре мили; при удесятеренной скорости оно уйдетъ вдесятеро дальше (сопротивленіе воздуха не принимаемъ въ разсчетъ); увеличивая скорость, мы можемъ такимъ образомъ по произволу увеличивать путь пробѣгаемый до паденія на землю и уменьшать кривизну описываемой линіи, такъ что тѣло упадетъ не ближе какъ на разстояніи 10, 20, 30 даже 90 градусовъ; оно станетъ наконецъ обращаться вокругъ земли, никогда на нее не попадая, или даже уйдетъ по прямой линіи въ пространство. Но подобно тому какъ брошенное тѣло могло бы обращаться вокругъ земли, повинуясь дѣйствію тяжести, возможно, что луна, повинуясь своей тяжести (предполагая, что она ее имѣетъ) или другой какой силѣ влекущей ее къ землѣ, всякій моментъ от-

клоняется отъ прямой линіи, чтобы приблизиться къ землѣ и принуждена обращаться по кривой орбитѣ, на которой безъ этой силы она не могла бы удержаться.“

§ 29. Второй примѣръ Ньютона: сохраненіе вращательнаго движенія. Въ примѣрѣ съ волчкомъ сохраняется вращательное движеніе. Чтобы ясно представить себѣ какъ законъ косности прилагается къ этому случаю, обратимъ вниманіе на какую либо отдѣльную частицу волчка. Если бы эта частица не увлекалась остальными, съ которыми она неразрывно связана, то она, вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости, удалилась бы отъ волчка по прямой линіи, касательной къ описываемому вмѣстѣ съ волчкомъ кругу въ той точкѣ пути гдѣ частица перестала быть связанною съ остальными. Такъ летитъ, напримѣръ, грязь съ вращающагося колеса, или несутся водяныя брызги (предполагая что часть обода касается воды). Но вслѣдствіе связи съ другими частицами, разсматриваемая частица волчка постоянно уклоняется отъ прямолинейнаго пути. И такъ какъ явленіе совершается однообразно во всѣ его моменты, то движеніе сохраняется въ начальномъ видѣ, и если бы не было препятствій, осталось бы таковымъ неопредѣленное время. Вообще когда говорятъ: тѣло приведенное въ движеніе и предоставленное себѣ (когда слѣд. нѣтъ силъ или препятствій дѣйствующихъ на него) движется равномѣрно и *прямолинейно*, то подъ словомъ тѣло разумѣется частица или тѣло разсматриваемое какъ *матеріальная точка*.

§ 30. Давленіе оказываемое тѣломъ на препятствіе уклоняющее его отъ прямолинейнаго пути. Камень привѣшенный на нити и приведенный во вращательное движеніе около руки, представляетъ случай когда цѣлое тѣло уклоняется отъ прямолинейнаго пути какой стремится принять вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости. При этомъ нить бываетъ натянута и можетъ порваться если не до-

вольно прочна; рука чувствуетъ что камень тянетъ ее къ себѣ. То дѣйствіе какое тѣло, по своей косности, оказываетъ на препятствіе уклоняющее его отъ прямолинейнаго пути называется *центробѣжною силою.* Она обнаруживается только пока дѣйствуетъ препятствіе, и тѣло движется криволинейно. Если бы нить порвалась, то и центробѣжная сила прекратилась бы, и тѣло продолжало бы двигаться не по кругу и не по радіусу (по которому была направлена центробѣжная сила), а по касательной линіи МТ (фиг. 47) въ той точкѣ гдѣ тѣло оставило кругъ. Движеніе происходитъ не отъ центробѣжной силы, а отъ пріобрѣтенной скорости. *)

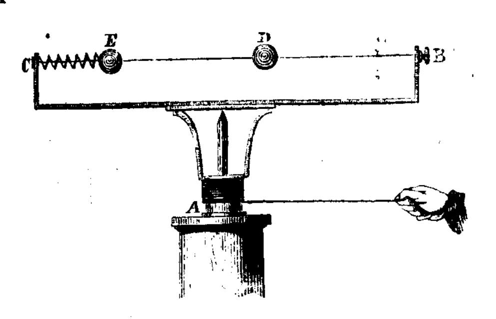


Фиг. 47.

§ 31. Опыты съ центробѣжною силою. На прутѣ, укрѣпленномъ на станкѣ, надѣтъ шаръ, который свободно можетъ двигаться вдоль прута. Станокъ помощію веревки (какъ представлено на фиг. 48) приводится въ движеніе около оси. Шаръ, какъ тяжелое тѣло, имѣетъ вѣсъ. Но такъ какъ шаръ надѣтъ на прутъ, то дѣйствіе вѣса ограничивается тѣмъ, что шаръ прижимается къ пруту сверху внизъ. На движеніе шара вдоль прута вѣсъ не имѣетъ прямаго вліянія, или точнѣе, его вліяніе ограничивается тѣмъ что отъ тренія,

*) Ученіе о центробѣжной силѣ основалъ Гюгенсъ (Huyghens), знаменитый голландскій ученый родившійся въ Гаагѣ въ 1629 году. Гюгенсъ есть также основатель общепринятой нынѣ теоріи свѣта какъ волнообразнаго движенія тончайшей матеріи; ему принадлежитъ также приложеніе маятника къ устройству часовъ, открытіе, помощію устроеннаго имъ длиннаго телескопа, кольца Сатурна и проч. Вызванный Лудовикомъ XIV въ 1665 году въ Парижъ въ новоустроивавшуюся тогда Академію Наукъ, онъ пробылъ въ этомъ городѣ до эпохи отмѣны Нантскаго эдикта. Умеръ на родинѣ въ 1695 году.

происходящаго вслѣдствіе прижатія, движеніе вдоль прута происходитъ не съ такою легкостію, какъ если

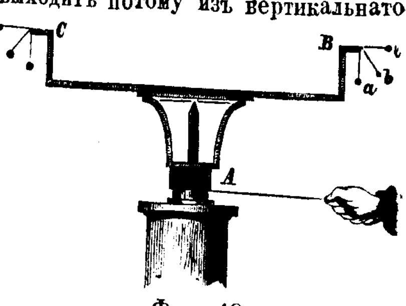


Фиг. 48.

бы шаръ не имѣлъ вѣса. Когда станокъ приведенъ во вращеніе, шаръ, увлекаемый прутомъ, приходитъ въ движеніе, и въ то время, какъ вся система вращается около оси, удаляется отъ этой оси, двигаясь вдоль прута, и наконецъ ударяясь въ самую стѣнку станка. Если между стѣнкой и шаромъ помѣстимъ пружину, то во время вращанія системы эта пружина будетъ прижата стремленіемъ шара удалиться отъ оси. Это давленіе и есть *центробѣжная сила* въ данномъ случаѣ. Оно тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше масса тѣла, чѣмъ быстрѣе тѣло движется и чѣмъ значительнее кривизна проходимаго пути.

Но при разсмотрѣніи опыта съ шаромъ на прутѣ можетъ родиться мысль что, кромѣ давленія вдоль радіуса, существуетъ другое, боковое, раждающееся вслѣдствіе сопротивленія. какое шаръ представляетъ пруту, толкающему его чтобы привести его въ движеніе. Такое сопротивленіе дѣйствительно существуетъ, пока скорость вращательнаго движенія шара увеличивается или уменьшается (такъ какъ скорость сообщается шару прутомъ). Но какъ скоро движеніе остается равномѣрнымъ, то существуетъ только давленіе по направленію радіуса. т.-е *центробѣжная сила.* Въ случаѣ равномѣрнаго движенія шаръ не сваливается, будучи помѣщенъ при краѣ станка безъ всякаго прута.

Направленіе центробѣжной силы яснѣе видно изъ слѣдующаго опыта. Замѣнимъ (фиг. 49) шаръ на прутѣ маленькимъ маятникомъ *a*, укрѣпленнымъ на вращающемся станкѣ. Шарикъ *a* во время вращенія подверженъ дѣйствію вѣса и центробѣжной силѣ. Онъ выходитъ потому изъ вертикальнаго положенія и отклоняется въ положеніе, напримѣръ, *b* при быстромъ движеніи приближающее къ положенію горизонтальному *c*, какое онъ имѣлъ бы, еслибы вѣсъ на него не дѣйствовалъ. Во все время, пока скорость движенія остается постоянною, нить маятника остается въ одной плоскости съ осью вращенія и въ случаѣ достаточной скорости направляется почти по радіусу описываемаго круга, доказывая что упомянутаго боковаго давленія нѣтъ; но если скорость движенія увеличивается или уменьшается, то маятникъ, не успѣвъ еще пріобрѣсти скорость какую имѣетъ самый станокъ, выходитъ изъ этой плоскости, либо отставая отъ нея, либо уходя впередъ.

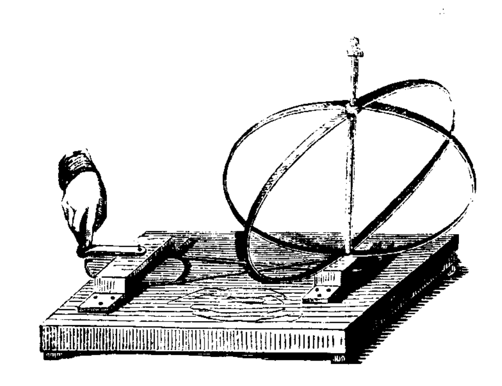


Фиг. 49.

§ 32. Измѣненіе формы тѣла отъ центробѣжной силы.

Когда тѣло вращается около оси, то скорость его различныхъ точекъ бываетъ различна. Точки болѣе удаленныя отъ оси, описывая въ продолженіи одинакового времени кругъ бо́льшаго радіуса чѣмъ точки ближе лежащія, должны имѣть бо́льшую скорость, и ихъ центробѣжная сила должна быть значительнѣе. Фиг. 50 изображаетъ тѣло, составленное изъ двухъ гибкихъ металлическихъ обручей, надѣтыхъ на вертикальную ось. Когда снарядъ приводится въ вращательное движеніе, то отъ дѣйствія центробѣжной силы обручи растягиваются въ своихъ экваторіальныхъ частяхъ, и образуемая ими фигура становится сплюснутою. Этотъ опытъ приводится обыкновенно для поясненія фигуры земли, которая, какъ извѣстно, сжата подъ полюсами. Происхожденіе сжатія земли объясняется дѣйствіемъ центробѣжной силы на жидкую

вращающуюся массу нашей планеты въ эпоху, когда она, какъ допускаютъ, была въ расплавленномъ состояніи.



Фиг. 50.

Повѣсивъ стаканъ съ водою на веревкѣ, можно привести его въ быстрое вращательное движеніе около руки, держащей веревку. При этомъ вода не выльется изъ стакана, не смотря на то что въ верхнихъ точкахъ пути стаканъ будетъ находится отверстіемъ внизъ. Центробѣжная сила, дѣйствуя по направленію противоположному тяжести, будетъ прижимать воду ко дну сосуда и не дозволитъ ей вылиться.

§ 33. Центробѣжная сила въ случаѣ движенія по криволинейному жолубу. Тѣло, катящееся по жолубу сверху внизъ, оказываетъ на этотъ жолобъ давленіе вслѣдствіе двухъ причинъ: своего вѣса и кривизны жолоба. Еслибъ этотъ жолобъ не имѣлъ кривизны и представлялъ собою наклонную плоскость, то существовало бы только давленіе отъ вѣса. Это давленіе постоянно во все время движенія, и не зависитъ отъ скорости. Давленіе вслѣдствіе кривизны жолоба (это давленіе можно разсматривать какъ центробѣжную силу, принявъ, что жолобъ представляетъ собою дугу круга болѣе или менѣе значительнаго радіуса) зависитъ отъ скорости и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше скорость. Когда тѣло достигнетъ нижней точки пути, оно, вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости, продолжаетъ двигаться далѣе, и если эта скорость достаточно велика, мо-

жетъ, не оставляя жалоба, описать весь путь, изображенный на фиг. 51. У *ss* вѣсъ тѣла побѣждается центробѣжною силой, и оно не только не падаетъ, но прижимается къ жолобу. Такъ можетъ быть устроена гора для катанія. Катящійся имѣетъ при *ss* голову внизъ и не падаетъ.

Фиг. 51.

§ 34. Третій примѣръ Ньютона: движеніе небесныхъ тѣлъ. Послѣдній примѣръ Ньютона относится къ движенію небесныхъ тѣлъ. Въ случаѣ тѣла вращающагося на нити дѣйствіе этой видимой нити уклоняетъ тѣло отъ прямолинейнаго пути и не дозволяетъ ему уйти отъ руки какъ центра движенія. Ньютонъ допустилъ что въ случаѣ движенія планеты вокругъ солнца уклоненіе отъ прямолинейнаго пути, какой приняла бы планета, еслибы на нее не дѣйствовала никакая сила, происходитъ отъ невидимаго *притяженія*, существующаго между солнцемъ и планетою. Это притяженіе, какъ невидимая нить, не отпускаетъ планету отъ солнца. Ньютонъ доказалъ что это дѣйствіе слабѣе для планетъ болѣе удаленныхъ и вообще для даннаго тѣла *уменьшается пропорціонально квадрату его разстоянія* отъ солнца.

Для объясненія движенія планетъ Кеплеръ *) также допускалъ дѣйствіе солнца на планеты, но разсматривалъ его не по радіусу описываемаго круга, а по его окружности какъ силу непрерывно гонящую планету по ея пути. Но мы видѣли что для подд ржанія движенія тѣла, въ случаѣ если нѣтъ препятствій, нѣтъ надобности въ непрерывномъ дѣйствіи силы: движеніе сохраняется вслѣдствіе косности Разъ приведенная въ движеніе планета продолжала бы двигаться, еслибы солнце и не дѣйствовало на нее, но движеніе было бы прямолинейно и планета ушла бы отъ солнца. То что требуетъ объясненія, есть именно—почему планета не уходитъ отъ солнца и описываетъ вокругъ его замкнутую кривую линію. Утвердивъ ученіе о тяготѣніи, Ньютонъ разрушилъ систему Декарта, господствовавшую въ ту эпоху и увлекавшую ученыхъ своэю простотой. Согласно этой системѣ, вокругъ солнца существуютъ *вихри* или потоки тонкаго вещества увлекающіе планеты.

*) Кеплеръ, открывшій законы движенія планетъ около солнца, послужившіе Ньютону для вывода закона тяготѣнія, родился въ 1571 году въ городѣ Вейлѣ въ Виртембергѣ учился въ Тюбингенскомъ университетѣ, затѣмъ переѣхалъ въ Прагу къ славному астроному Тихо-де-Браге, получилъ мѣсто императорскаго математика съ бѣднымъ вознагражденіемъ. уплачивавшимся кромѣ того неаккуратно, затѣмъ былъ профессоромъ въ Линцѣ и умеръ въ 1631 году послѣ жизни исполненной лишеній, несчастій и невѣроятныхъ трудовъ. Въ концѣ жизни онъ находился на службѣ у Валенштейна, давшаго ему мѣсто въ Ростокскомъ университетѣ.

Ньютонъ доказалъ далѣе что эта сила притяженія есть та самая которая заставляетъ камень падать на землю и повинуясь которой луна удерживается на своемъ пути вокругъ земли. Всѣ эти явленій суть частные случаи одного основнаго явленія природы, состоящаго въ томъ что *всякія двѣ частицы вещества притягиваются взаимно прямо пропорціонально произведенію ихъ массъ и обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія*. Этотъ законъ называется *закономъ Ньютона.* Такимъ образомъ, согласно ученію Ньютона, вѣсъ тѣла есть слѣдствіе притяженія какое оказываютъ на него всѣ частицы земнаго шара. Притяженіе это дѣйствуетъ такъ какъ еслибъ вся масса земли сосредоточена была въ ея центрѣ. Взаимное притяженіе тѣлъ англійскій ученый конца прошлаго столѣтія, Кавендишъ (Cavendish), доказалъ прямымъ опытомъ, обнаруживъ замѣтное, хотя и весьма слабое притягательное дѣйствіе большаго свинцоваго шара на маленькій шарикъ.

§ 35. Второй общій законъ движенія: законъ относительнаго движенія. *Если нѣкоторая совокупность или, какъ говорится, „система" тѣлъ, къ которой принадлежитъ разсматриваемое нами тѣло, перемѣщается равномѣрно, такъ что всѣ ея точки движутся одинаково, проходя прямыя параллельныя линіи съ постоянною скоростію, и если какая-нибудь причина*

дѣйствуетъ на тѣло во время движенія, то оно движется относительно другихъ точекъ системы такъ, какъ будто вся система была въ покоѣ, а на тѣло дѣйствовала та же причина.

Другими словами, *силы дѣйствуютъ одинаково какъ на тѣло находящееся въ покоѣ, такъ и на тѣло находящееся въ движеніи.*

Галилей указалъ этотъ законъ въ своемъ знаменитомъ сочиненіи *Разговоры о системахъ міра* **(за которое онъ подвергся осужденію) по поводу вопроса о томъ какимъ образомъ общее быстрое движеніе земли не разстраиваетъ частныхъ движеній происходящихъ на ея поверхности, и птица, напримѣръ, свободно перелетаетъ съ мѣста на мѣсто.**

Галилей поясняетъ этотъ законъ слѣдующимъ примѣромъ.
„Заключите себя съ какимъ-нибудь пріятелемъ въ залѣ подъ па-
лубою какого-нибудь большаго корабля, и пустите туда мухъ,
бабочекъ и другихъ подобныхъ маленькихъ летающихъ живот-
ныхъ. Пусть будетъ тамъ также большой сосудъ съ водою, и
въ немъ рыбки. Повѣсьте также на потолокъ ведро, изъ кото-
раго капля за каплею вытекала бы вода въ другой сосудъ съ
узкимъ отверстіемъ находящійся внизу подъ нимъ. Пока не
движется корабль, наблюдайте какъ эти летающія животныя
съ равною быстротою будутъ летать во всѣ стороны комнаты.
Рыбы будутъ плавать безразлично во всѣ стороны; падающія
капли будутъ попадать всѣ въ подставленный сосудъ. И вы,
бросая пріятелю какую-нибудь вещь, не будете принуждены
употреблять бо́льшую силу для того чтобы бросить ее въ одну
сторону чѣмъ въ другую, если только разстоянія одинаковы.
Прыгая вы будете проходить одинаковыя пространства во всѣ
стороны (куда бы ни прыгали). Наблюдайте хорошенько за
всѣмъ этимъ, и заставьте привести въ движеніе корабль, съ
какою угодно быстротою. Если движеніе будетъ равномѣрно,
то вы не замѣтите ни малѣйшей перемѣны во всѣхъ указан-
ныхъ дѣйствіяхъ, и ни по одному изъ нихъ не въ состояніи
будете судить, движется ли корабль, или стоитъ на мѣстѣ. Вы,
прыгая, будете проходить на полу тѣ же самыя пространства,
какъ и прежде, т.-е. вы не сдѣлаете, вслѣдствіе того что ко-
рабль движется весьма быстро, бо́льшихъ прыжковъ къ кормѣ,
чѣмъ къ носу корабля, хотя въ то время, когда вы находи-
тесь въ воздухѣ, полъ, находящійся подъ вами, бѣжитъ къ ча-
сти противоположной вашему прыжку. Бросая вещь товарищу,
вамъ не нужно съ бо́льшею силою бросать ее, если онъ будетъ
около носа корабля, вы же около кормы, чѣмъ на оборотъ.

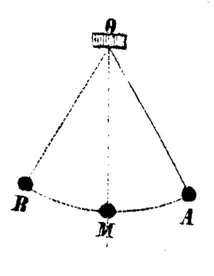
Капли будутъ падать, какъ прежде, въ нижній сосудъ, и ни одна не упадетъ по направленію къ кормѣ, не смотря на то что, въ то время какъ капля находится въ воздухѣ, корабль уходитъ впередъ на нѣсколько локтей. Рыбы въ своей водѣ не съ большимъ трудомъ будутъ плавать къ одной, чѣмъ къ другой сторонѣ сосуда, и будутъ приходить съ одинаковою ловкостью къ пищѣ, положенной на какое угодно мѣсто края сосуда. Наконецъ бабочки и мухи будутъ летать попрежнему во всѣ стороны и не будутъ держаться болѣе около той стѣны которая ближе къ кормѣ, какъ будто устали слѣдовать за быстрымъ ходомъ корабля, отъ котораго онѣ, находившись долго въ воздухѣ, какъ будто разъединены. И если зажжете нѣсколько ладона, то дымъ пойдетъ вверхъ и будетъ держаться въ видѣ облачка и безразлично двигаться въ ту, или въ другую сторону. А причина того что всѣ эти дѣйствія такъ соотвѣтствуютъ одно другому заключается въ томъ что движеніе корабля обще всему находящемуся въ немъ,—и воздуху. Для этого говорилъ я чтобъ мы находились подъ палубою. Еслибъ мы были надъ нею, на открытомъ воздухѣ, который не слѣдуетъ за движеніемъ корабля, то замѣтили бы разницу болѣе или менѣе ощутительную.“

Замѣтимъ что движеніе земли не подходитъ строго подъ тотъ случай движенія системы, для котораго мы выразили предыдущій законъ. Точки земли, вращаясь около ея оси, не всѣ имѣютъ одинаковую скорость и движутся не по прямымъ линіямъ. Поэтому движенія тѣлъ на землѣ происходятъ не совсѣмъ такъ, какъ они происходили бы, еслибы земля была въ покоѣ. Движеніе земли имѣетъ вліяніе на направленіе вѣтра, на теченіе рѣкъ, на отклоненіе къ востоку тѣла падающаго съ значительной высоты, на отступленіе плоскости качающагося маятника и т. д. Такого рода явленія служатъ прямыми доказательствами обращенія земли около оси.

§ 36. Третій законъ движенія. Дѣйствіе равно противодѣйствію. Силы производящія движенія въ природѣ происходятъ отъ взаимнаго дѣйствія тѣлъ. Эти дѣйствія бываютъ двоякаго рода. Тѣла могутъ дѣйствовать одно на другое чрезъ *непосредственное прикосновеніе*, какъ ударъ, толчокъ, давленіе, или на *разстояніи*, какъ притяженіе земли, магнитныя и электрическія притяженія и отталкиванія. Во всякомъ случаѣ, если одно тѣло дѣйствуетъ на другое, то это послѣднее въ свою очередь оказываетъ равное дѣйствіе на первое. Въ этомъ состоитъ законъ: *дѣйствіе равно противодѣйствію.*

Давя рукою на неподвижное препятствіе, напримѣръ на стѣну, мы испытываемъ сопротивленіе, равное и противоположное производимому давленію. Ударяя о какой-нибудь предметъ, мы встрѣчаемъ противодѣйствіе, и явленіе было бы то же самое, еслибы рука находилась въ покоѣ, а предметъ приближался со скоростію какую имѣла рука. Магнитъ притягиваетъ кусокъ желѣза, этотъ кусокъ тянетъ къ себѣ въ свою очередь магнитъ. Если положимъ ихъ на одинъ поплавокъ, то такой поплавокъ останется въ покоѣ. Еслибы магнитъ притягивалъ желѣзо сильнѣе чѣмъ въ свою очередь желѣзо притягиваетъ магнитъ, то весь поплавокъ долженъ бы двигаться въ сторону магнита, и наоборотъ: еслибы сила притяженія желѣза была болѣе значительна, вся система пришла бы въ движеніе въ сторону желѣза. То обстоятельство, что поплавокъ остается въ покоѣ, доказываетъ равенство двухъ силъ. Вообще, когда система состоитъ изъ двухъ тѣлъ между которыми существуетъ только взаимное дѣйствіе, то эта система сама собою не можетъ придти въ движеніе.

§ 37. Качанія маятника; ихъ исохронность. Точное изученіе дѣйствія тяжести на тѣла дѣлается не помощію изслѣдованія движенія тѣлъ свободно падающихъ или катящихся, но помощію наблюденія качаній *маятника*. Тѣло качающееся около одной точки или около горизонтальной оси, вслѣдствіе дѣйствія на него тяжести, называется вообще *маятникомъ*. Тяжелое тѣло повѣшенное на нити, представляетъ собою простѣйшую форму маятника. Если мы выведемъ тѣло M (фиг. 52) изъ вертикальнаго положенія въ положеніе A и осторожно выпустимъ его изъ рукъ,



Фиг. 52.

не давая ему никакого толчка въ бокъ, то оно возвратится опять въ вертикальное положеніе, но не остановится въ немъ, а отклонится въ противоположную сторону и станетъ качаться въ вертикальной плоскости. Мало-по-малу дуга качанія AB будетъ уменьшаться и чрезъ нѣсколько времени тѣло придетъ въ покой возвратясь въ отвѣсное положеніе.

Галилей, еще въ своей юности наблюдая малыя качанія люстръ въ церкви, замѣтилъ важное свойство качаній маятника называемое *исохронизмомъ*. Онъ нашелъ что время одного качанія маятника не зависитъ отъ величины описываемой имъ дуги, то-есть что маятникъ дѣлаетъ большіе и малые размахи въ одинакое время. Такъ, сравнивъ число качаній которое маятникъ дѣлаетъ въ минуту, когда дуга его качанія имѣетъ, напримѣръ, около 6^0, съ числомъ качаній которое онъ дѣлаетъ въ минуту, когда дуга размаха имѣетъ напримѣръ около 1^0, мы найдемъ что эти числа одинаковы.

Законъ этотъ оправдывается въ строгости, впрочемъ, только если число градусовъ дуги размаха незначительно. При значительномъ отклоненіи время одного размаха нѣсколько болѣе чѣмъ при маломъ.

Такое свойство малыхъ качаній маятника дѣлаетъ его весьма удобнымъ для измѣренія времени.

§ 38. Длинный маятникъ дѣлаетъ менѣе качаній чѣмъ короткій въ данное время. Представимъ себѣ два маятника изъ которыхъ одинъ *вчетверо* короче другаго. Опытъ показываетъ что число качаній короткаго маятника будетъ *вдвое* болѣе числа качаній длиннаго, такъ что если короткій маятникъ дѣлаетъ, напримѣръ, 60 качаній въ минуту, то маятникъ, вчетверо длиннѣйшій, дѣлаетъ только 30. Еслибъ одинъ маятникъ былъ въ 9 разъ длиннѣе другаго, то въ продолженіи даннаго времени онъ дѣлалъ бы втрое меньшее число качаній; такъ если короткій маятникъ, дѣлаетъ 60 качаній въ

минуту, то тотъ который въ 9 разъ длиннѣе дѣлаетъ ихъ только 20. Маятникъ, который въ 16 разъ длиннѣе, дѣлаетъ ихъ 15. Другими словами, длины двухъ маятниковъ обратно пропорціональны числамъ качаній въ данный промежутокъ времени, возвышеннымъ въ квадратъ.

Этотъ законъ можно выразить слѣдующею формулою, если назовемъ буквами l_1 и l_2 длины двухъ маятниковъ, буквами N и N_2 числа ихъ качаній въ данное время:

$$l_1 : l_2 = N_2^2 : N_1^2$$

На основаніи этого закона можно рѣшить многія задачи относительно длины и числа качаній различныхъ маятниковъ. Можно, напримѣръ, какъ указываетъ Галилей въ *Разговорахъ о новыхъ ученіяхъ въ механикѣ* „съ большою точностію опредѣлить длину нитки повѣшенной такъ что верхній, прикрѣпленный конецъ ея невидимъ, а доступенъ только нижній конецъ. Къ этому послѣднему я привяжу значительную тяжесть и заставлю ее колебаться на подобіе маятника. Кто-нибудь изъ друзей станетъ считать нѣсколько послѣдовательныхъ ея колебаній, а я самъ буду въ то же время считать колебанія другаго тѣла, повѣшеннаго на нити длиною ровно въ локоть. Изъ числа колебаній этихъ двухъ маятниковъ, прослѣженнаго въ продолженіи опредѣленнаго времени, тотчасъ найдется неизвѣстная длина нити. Положимъ, напримѣръ, что, въ то время когда пріятель насчиталъ 20 колебаній своего маятника, я на своемъ замѣтилъ ихъ 240. Возвысивъ эти числа въ квадратъ, получаемъ 400 и 57600. Отсюда видимъ, что если нить моего маятника раздѣлена на 400 частей, то искомая нить будетъ ихъ содержать 57600; а такъ какъ длина моего маятника одинъ локоть, то раздѣливъ 57600 на 400 получаемъ искомую длину, равную 144 локтямъ.“

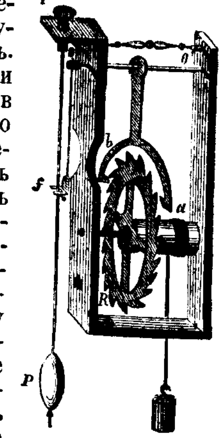
§ 39. Доказательство помощію маятника что тяжесть на всѣ тѣла дѣйствуетъ одинаково. Маятникъ съ несравненно бо́льшею точностію чѣмъ опытъ съ паденіемъ тѣла въ трубкѣ можетъ оправдать важное положеніе, что тяжесть на всѣ тѣла дѣйствуетъ одинаково, сообщая имъ, когда тому не препятствуетъ сопротивленіе воздуха, равныя скорости. Не трудно дѣйствительно убѣдиться что маятники равной длины, но изъ весьма различныхъ веществъ, совершаютъ свои колебанія въ одно и то же время.

Галилей для этой цѣли поступалъ такъ: „Я взялъ, говоритъ онъ, два шара, одинъ свинцовый, а другой пробковый, такъ что первый былъ слишкомъ во сто разъ тяжелѣе втораго. Каждый изъ нихъ я привязалъ на тонкую бичевку, а обѣ бичевки, равныя между собою длиною (въ четыре или пять локтей), прикрѣпилъ на верху. Повѣсивъ такимъ образомъ шары, въ одно и то же мгновеніе я вывелъ ихъ изъ перпендикулярнаго положенія и они, описывая дуги равныхъ полудіаметровъ (такъ какъ были на концахъ равныхъ бичевокъ), сперва спустились на прежнее свое мѣсто, прошли чрезъ него, поднялись въ другую сторону и снова тѣмъ же путемъ направились куда были мною отклонены. Послѣ множества такихъ качаній стало несомнѣнно, что время употребляемое свинцомъ на сотню, даже на тысячу размаховъ, ничуть не превышаетъ времени употребляемаго на то же число качаній пробкою, но что эти времена вполнѣ равны между собою. Вліяніе среды и здѣсь не преминуло высказаться; но оно, нѣсколько затрудняя движеніе, только уменьшало ширину размаховъ пробковаго шара сравнительно съ размахами свинцоваго, а не дѣйствовало на время качаній; дуги, проходимыя пробкою, ограничивались 5 или 6 градусами, а проходимыя свинцомъ достигали 50 или 60 градусовъ; однако и тѣ и другія были пробѣгаемы въ равныя времена.“

§ 40. Изслѣдованіе напряженія тяжести помощію маятника. Число качаній маятника зависитъ не только отъ длины, его, но и отъ напряженія тяжести въ мѣстѣ гдѣ производится наблюденіе. Гдѣ напряженіе тяжести значительнѣе, тамъ тѣла падаютъ быстрѣе; быстрѣе должны свершаться и качанія маятника, а слѣдовательно число ихъ въ данное время должно быть значительнѣе. Такимъ образомъ маятникъ одной и той же длины подъ экваторомъ, гдѣ напряженіе тяжести слабѣе, дѣлаетъ менѣе качаній въ минуту чѣмъ подъ высшими широтами. Длина маятника дѣлающаго 60 качаній въ минуту (секундный маятникъ) подъ экваторомъ = 991 миллиметру, подъ широтою 45° = 994 милл., подъ полюсомъ = 996 милл. Тяжесть ослабѣваетъ акже на высотѣ, по мѣрѣ удаленія отъ центра земли. Она ослабѣваетъ въ глубинахъ земной коры; ибо по мѣрѣ углубленi числo притягивающихъ слоевъ уменьшается тѣми какія остаются выше тѣла. Вообще всѣ измѣненія тяжести изучаются помощію наблюденія качаній маятника.

§ 41. Приложеніе маятника къ часамъ. Валъ съ насаженнымъ на немъ зубчатымъ колесомъ приводится въ движеніе дѣйствіемъ заведенной пружины или опускающеюся внизъ гирей, какъ изображено на фиг. 53. Еслибы ничто не удерживало гири, то она опускалась бы внизъ ускорительнымъ движеніемъ, и скорость вращенія вала увеличивалась бы болѣе и болѣе. Но представимъ себѣ что мы черезъ опредѣленные промежутки времени останавливаемъ валъ. Тогда, если остановки слѣдуютъ одна за другою черезъ равные промежутки, движеніе вала бу-

детъ періодическимъ, и онъ въ продолженіе каждаго изъ этихъ промежутковъ успѣетъ повернуться на одинаковый уголъ. Если къ его оси придѣлана стрѣлка, то и она будетъ проходить на циферблатѣ равное пространство въ продолженіи каждаго изъ равныхъ промежутковъ времени, и по величинѣ всей пройденной дуги можно будетъ судить, сколько было послѣдовательныхъ остановокъ, и слѣд. сколько прошло равныхъ промежутковъ времени. Эти остановки дѣлаются помощію маятника. Маятникъ, качаясь, увлекаетъ въ своемъ движеніи стержень f и вмѣстѣ съ нимъ дугу ab, называемую крючкомъ. Крючокъ оканчивается загнутыми кончиками, которые могутъ входить въ промежутки между зубчиками колеса, насаженнаго на валѣ. Въ моментъ когда маятникъ движется такъ что точка b удаляется отъ колеса, зубчикъ, опиравшійся въ этой точкѣ, дѣлается свободнымъ, и колесо вращается до тѣхъ поръ, пока кончикъ a, приближающійся къ колесу въ то время какъ b удаляется, коснется зубчика непосредственно подъ нимъ находящагося. Когда маятникъ возвращается назадъ, конецъ a поднимается; колесо приходитъ въ движеніе, но снова останавливается кончикомъ зацѣпляющимъ слѣдующій зубецъ колеса. Размѣры колеса таковы что при каждомъ размахѣ маятника оно повертывается ровно на одинъ зубецъ. Такимъ образомъ движеніе колеса будетъ состоять изъ маленькихъ перемѣщеній, соотвѣтствующихъ каждое одному размаху маятника, и эти послѣдовательныя перемѣщенія равны между собою, такъ какъ маятникъ каждое качаніе дѣлаетъ въ одинакое время. Вмѣстѣ съ тѣмъ при каждомъ размахѣ кончикъ крючка получаетъ маленькій ударъ отъ останавливаемаго имъ зубчика. Этими ударами возстанавливается потеря движенія испытываемая маятникомъ вслѣдствіе тренія и другихъ сопротивленій, и маятникъ качается не останавливаясь все время пока спускается гиря.

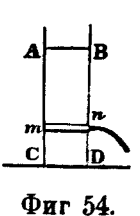


Фиг. 53.

II. Ученіе о жидкостяхъ.

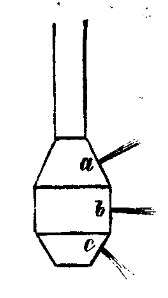
§ 42. **Удобоподвижность частицъ жидкости.** Въ твердомъ тѣлѣ частицы соединены между собою такъ что кромѣ небольшихъ колебаній не могутъ имѣть движенія независимо отъ движенія цѣлаго тѣла. Частицы жидкости напротивъ того удобоподвижны, могутъ перемѣнять свои мѣста, встрѣчая со стороны окружающихъ частицъ лишь такое препятствіе которое можно сравнить съ треніемъ. Жидкости не имѣютъ опредѣленной, неизмѣняемой формы, а принимаютъ форму сосудовъ, въ которыхъ заключены. Но легко измѣняясь въ формѣ, жидкости мало измѣняются въ объемѣ даже если подвергнуть ихъ сильному сдавленію. Отсюда названіе *несжимаемыхъ* даваемое жидкостямъ.

§ 43. **Жидкости имѣютъ вѣсъ, вслѣдствіе котораго давятъ на дно и стѣнки сосуда.** Жидкости имѣютъ вѣсъ какъ и твердыя тѣла. Но жидкую массу нельзя, какъ твердое тѣло, повѣсить на нити; нельзя также, не заключивъ въ сосудъ, поставить на столъ. Столбъ жидкости AC (фиг. 54) давитъ внизъ также какъ столбъ твердаго тѣла, но еслибы этотъ жидкій столбъ не былъ окруженъ стѣнками, онъ тотчасъ же разлился бы въ бока. Если сдѣлаемъ въ стѣнкѣ отверстіе n, то жидкость брызнетъ образуя струю; если чтобъ прекратить ее приложимъ палецъ то онъ будетъ испытывать давленіе со стороны



Фиг 54.

жидкости. Изъ этого опыта слѣдуетъ что верхніе слои жидкости давя на слой *mn* не только нажимаютъ на него сверху внизъ, но и даютъ его частицамъ стремленіе двигаться въ бока. И это стремленіе, какъ свидѣтельствуетъ направленіе выходящей струи, направлено перпендикулярно къ стѣнкѣ сосуда въ томъ мѣстѣ, гдѣ струя выходитъ. Такимъ образомъ въ срединѣ изображеннаго на фиг 55 сосуда струя направлена горизонно, въ верхней части идетъ вверхъ, въ нижней направлена внизъ *). По силѣ струи можно заключить что давленіе это тѣмъ больше, чѣмъ ниже отверстіе, чѣмъ слѣдовательно длиннѣе давящій столбъ жидкости.



Фиг. 55.

§ 44. Форма свободной поверхности.

Налитая въ сосудъ жидкость принимаетъ форму сосуда, оказывая, какъ упомянуто, давленіе на его дно и стѣнки гдѣ ихъ касается. Въ открытой части сосуда, гдѣ нѣтъ удерживающей стѣнки, жидкость сама собою располагается въ равновѣсіи и принимаетъ такую поверхность для сохраненія которой нѣтъ надобности въ стѣнкѣ. Эта поверхность въ каждой точкѣ должна быть перпендикулярна къ направленію дѣйствія тяжести, ибо лишь для такой поверхности не надо удерживающей стѣнки. Всякая другая поверхность не могла бы сохраниться сама собою. Такъ если бы поверхность жидкости (фиг. 56) при точкѣ *m* была наклонна, то слои жидкости выше этой точки лежащіе,

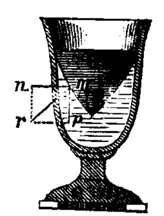
*) Замѣтимъ что такое направленіе выходящая струя имѣетъ только при самомъ отверстіи; на незначительномъ разстояніи отъ отверстія она уже замѣтно загибается и описываетъ кривую линію. Это происходитъ отъ дѣйствія тяжести на частицы струи, которую вообще можно сравнивать съ брошеннымъ тѣломъ.

давя внизъ, произвели бы при *m* и боковое давленіе, которое, если нѣтъ стѣнки, перемѣстило бы частицы жидкости.

Поверхность перпендикулярную къ направленію тяжести въ сосудѣ можемъ разсматривать какъ плоскость (*горизонтальная плоскость*). Плоскость эта есть, строго говоря, малая часть сфероидальной поверхности (см. § 3) какую имѣетъ вода покрывающая землю.

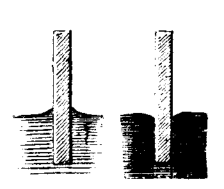
Фиг. 56.

Еслибы направленіе силы дѣйствующей на жидкость измѣнилось, то измѣнилась бы и свободная поверхность. Если напр. приведемъ сосудъ во вращательное движеніе около вертикальной оси, то жидкость, поднимется при краяхъ сосуда, опустится въ срединѣ и приметъ кривую поверхность. На частицу *m* жидкости (фиг. 57) дѣйствуютъ двѣ силы: одна—сила тяжести, по направленію *mp*, другая—центробѣжная сила, по направленію *mn*. Поверхность жидкости въ точкѣ *m* перпендикулярна къ линіи *mr* показывающей направленіе совокупнаго дѣйствія этихъ двухъ силъ.

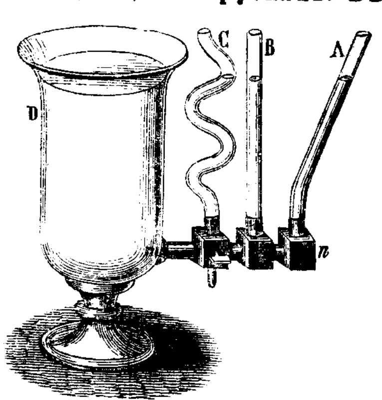


Фиг. 57.

§ 45. **Поверхность жидкости при стѣнкахъ сосуда.** Замѣтимъ что при стѣнкахъ сосуда и вообще при краяхъ стеклянной пластинки, опущенной въ воду (фиг 58), поверхность жидкости перестаетъ быть горизонтальною, а возвышается надъ общимъ уровнемъ, имѣя *вогнутую* кривизну. Такъ бываетъ при всѣхъ тѣлахъ способныхъ смачиваться жидкостью. Явленіе бываетъ иначе, когда жидкость *не смачиваетъ* тѣло, къ которому прикасается Такъ ртуть при стѣнкахъ стекляннаго сосуда или при краяхъ пластинки (фиг. 59), стоитъ *ниже* общаго уровня образуя *выпуклость*. Явленія эти зависятъ съ одной стороны отъ того что между частицами жидкости существуютъ взаимныя притяженія, побуждающія жидкую массу предоставленную своимъ внутреннимъ силамъ принимать сферическую форму, а съ другой, что между частицами твердаго тѣла и частицами жидкости можетъ существовать прилипаніе, превышающее взаимное притяженіе частицъ жидкости (какъ въ случаѣ стекла и воды).

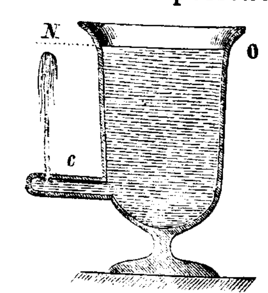

Фиг. 58. Фиг. 59.

47. Жидкость въ двухъ сообщающихся трубкахъ. Въ двухъ или нѣсколькихъ сообщающихсятрубкахъ (фиг. 60) жидкость стоитъ на одинаковой высотѣ, такъ что поверхности ея въ этихъ сосудахъ суть продолженія одной общей горизонтальной поверхности.



Фиг. 60.

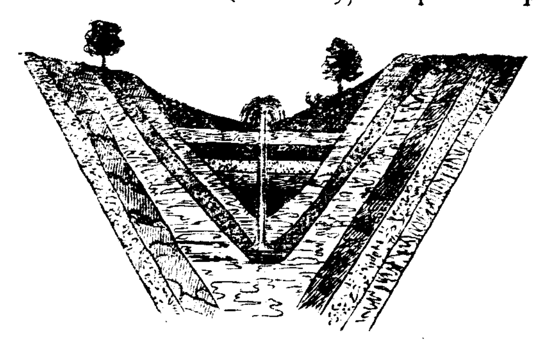
Въ случаѣ двухъ сообщающихся сосудовъ, изъ которыхъ одинъ короче другаго и закрытъ горизонтальною стѣнкою съ небольшимъ отверстіемъ или въ случаѣ сосуда подобнаго изображенному на фиг. 61, съ отверстіемъ при *c*, жидкость стремится чрезъ отверстіе достичь уровня какой имѣетъ въ наполненномъ сосудѣ и бьетъ вверхъ струею, образуя *фонтанъ*. Высота до какой достигаетъ струя ниже продолженнаго уровня жидкости *ON*. Причины не дозволяющія ей достигать этой высоты суть давленіе частицъ жидкости возвращающихся внизъ на тѣ которыя еще поднимаются, треніе жидкости о стѣнки отверстія и сопротивленіе воздуха. Можно допустить что если бы этихъ причинъ не было, жидкость поднялась бы до самой высоты *N*. Дѣйствительно въ первый моментъ истеченія, когда первая причина еще не дѣйствуетъ, высота струи значительно ближе подходитъ къ уровню чѣмъ потомъ. Можно также избѣгнуть вліянія возвращающихся частицъ заставивъ струю бить въ нѣсколько наклонномъ направленіи



Фиг. 61.

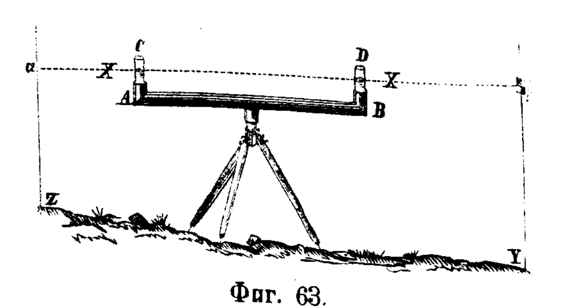
Распредѣленіе воды по фонтанамъ въ городахъ и садахъ основывается также на законѣ сообщающихся трубокъ. Въ такихъ случаяхъ имѣется на возвышенномъ мѣстѣ резервуаръ воды, естественный или искуственно наполненный посредствомъ водоподъемныхъ машинъ берущихъ воду изъ источниковъ. Отъ резервуара идутъ трубы разносящія воду въ мѣста лежащія ниже резервуара, гдѣ она выходитъ съ силою чрезъ надлежаще направленное отверстіе. Въ Москвѣ вода Мытищинскихъ ключей поднимается водоподъемными машинами въ возвышенный резервуаръ, находящійся въ мѣстечкѣ Алексѣевскомъ за городскою чертою; резервуаръ этотъ сообщается съ большимъ городскимъ резервуаромъ, помѣщеннымъ на Сухаревой башнѣ, откуда уже трубы разносятъ воду по фонтанамъ

Естественные ключи, въ свою очередь, суть приложеніе того же закона сообщающихся трубокъ. Земная кора въ верхнихъ частяхъ состоитъ главнымъ образомъ изъ наложенныхъ одинъ на другой породъ глины, рухляка, песку и разныхъ каменныхъ массъ. Одни изъ этихъ слоевъ проницаемы для воды, другіе, какъ слои глины, не проницаемы. Такъ какъ слои обыкновенно расположены наклонно (фиг. 62), то при поверхности


Фиг. 62.

земной они обозначаютъ себя какъ болѣе или менѣе широкія полосы покрытыя общимъ подъ слоемъ обрабатываемой земли. Дождевыя воды скопляются въ проницаемыхъ слояхъ, образуя обширные подземные резервуары. Воды рѣкъ протекающихъ надъ такими слоями въ свою очередь содѣйствуютъ наполненію этихъ резервуаровъ. Если въ непроницаемомъ слоѣ подъ которымъ лежитъ резервуаръ образуется каналъ, то вода чрезъ него проникаетъ и можетъ выйдти на поверхность земли, буде отверстіе ниже уровня воды въ проницаемомъ слоѣ. Нерѣдко можно произвести ключъ искусственно, пробуравивъ землю до слоя подземной воды, если таковый находится подъ данною мѣстностію и если уровень его воды выше мѣста гдѣ желаемъ получить ключъ. Такъ дѣлаются глубокія колодцы (фиг. 62) называемыя *артезіанскими*, обильно доставляющіе воду изъ обширныхъ водныхъ резервуаровъ, лежащихъ на значительной глубинѣ и питаемыхъ водами болѣе или менѣе отдаленныхъ возвышенныхъ мѣстностей.

§ 47. На свойствѣ сообщающихся сосудовъ основано устрой-ство снаряда, называсмаго *нивеллиромъ* и служащаго для опредѣленія разности вертикальныхъ высотъ различныхъ мѣстностей или, какъ это говорится, для нивеллированія. Нивеллиръ есть металлическая трубка оканчивающаяся двумя вертикальными стеклянными трубками. Налитая вода стоитъ на одинаковой высотѣ въ трубкахъ *AC* и *BD*, и лучъ зрѣнія наблюдателя (фиг. 63) направленный по поверх-

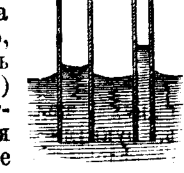


Фиг. 63.

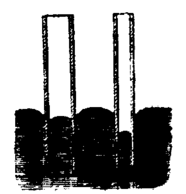
ности жидкости, имѣетъ необходимымъ образомъ горизонтальное направленіе *XX*. На вертикальномъ шестѣ *Y* помѣщается значокъ или мѣта β, состоящая изъ четырехъ квадратовъ, изъ которыхъ два бѣлые и два черные или красные. Мѣта β ставится на такой высотѣ, что для наблюдателя, смотрящаго при *AC*, уровень жидкости въ трубкахъ *AC* и *BD* и общая вершина четырехъ квадратовъ мѣты находятся на одной горизонтальной линіи *XX*β. Измѣряютъ высоту *Y*β. Переносятъ шестъ съ мѣтою въ другое мѣсто *Z* и опредѣляютъ высоту другой точки α, находящейся на той же горизонтальной линіи *XX*. Разность линій β*У* и α*Z* показываетъ на сколько точка *Z* лежитъ выше горизонтальной плоскости, проходящей чрезъ точку *У*.

§ 48. Капиллярныя трубки. Если одна изъ сообщающихся трубокъ имѣетъ очень малый діаметръ (такія трубки называются *капиллярными* или *волосными*, то явленіе происходитъ иначе чѣмъ въ широкихъ каналахъ. *Смачивающая* трубку жидкость стоитъ въ узкой трубкѣ выше (фиг. 64) чѣмъ въ широкой. Такъ бываетъ, напримѣръ, въ случаѣ воды въ стеклянномъ сосудѣ. Ртуть наоборотъ въ узкомъ каналѣ стоитъ ниже (фиг. 65) чѣмъ въ широкомъ. Чѣмъ менѣе діаметръ капиллярной трубки тѣмъ значительнѣе разница уровня жидкости между двумя колѣнами. Подобнымъ образомъ, если опустимъ стеклянную капиллярную трубку въ сосудъ съ водою и если внутренняя поверхность трубки совершенно чиста, или если она была предварительно смочена водою, то вода внутри трубки поднимается и будетъ стоять *выше* общаго уровня жидкости въ сосудѣ, оканчиваясь *вогнутымъ мениском*ъ (фиг. 66). Если трубка опущена въ сосудъ съ ртутью, то въ трубкѣ жидкость стоитъ *ниже* общаго уровня (фиг. 67) и будетъ оканчиваться *выпуклымъ менискомъ*. Явленія эти объясняются изъ того же начала какъ упомянутыя въ § 45 явленія повышенія и пониженія жидкости при стѣнкахъ сосуда.

Фиг. 64 и 65.



Фиг. 66.



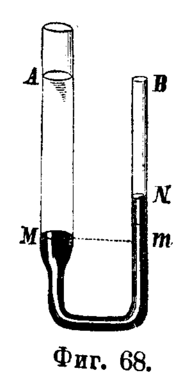
Фиг. 67.

Приведемъ еще нѣсколько примѣровъ капиллярныхъ дѣйсвтій. Кусокъ сахара, обмокнутый концомъ въ воду, весь проникается ею. Промежутки между маленькими кристаллами, изъ которыхъ состоитъ сахаръ, образуютъ узкіе неправильные каналы, играющіе роль узкихъ трубокъ въ которыхъ поднимается жидкость. Отъ подобной же причины поднимаются масло и спиртъ

въ фитилѣ лампъ, а пропускная бумага впитываетъ въ себя чернила; коротенькая стеклянная трубка съ капиллярнымъ діаметромъ, оканчивающаяся тонкимъ концомъ, можетъ служить вмѣсто свѣтильни и т. д.

Чтобы смочить землю въ горшкѣ съ цвѣтами, можно, вмѣсто того чтобы поливать сверху, налить воды въ плоскій сосудъ, въ которомъ ставится горшокъ. Вода просочится вверхъ и смочить землю. Насыпавъ на поверхность воды въ стаканѣ мелкаго порошку плавуна, можно, не замочивъ пальца, опустить его въ воду до дна. Палецъ, проходя чрезъ плавунъ, покроется слоемъ этого порошка и останется несмоченнымъ.

§ 49 Условіе равновѣсія разнородныхъ жидкостей въ сообщающихся сосудахъ. Если въ сообщающихся между собою сосудахъ находятся двѣ несмѣшивающіяся жидкости различной плотности, то *высоты ихъ надъ плоскостью раздѣленія будутъ обратно пропорціональны плотностямъ.* Нальемъ въ два сообщающіеся сосуда (фиг. 68) ртути. Она расположится въ обоихъ колѣнахъ на одинаковой высотѣ. Прильемъ воды въ одно изъ колѣнъ. Когда равновѣсіе установится, сравнимъ вертикальныя высоты столбовъ AM и Nm воды и ртути, считая ихъ отъ уровня раздѣленія воды и ртути Mm. Тогда высота столба воды AM будетъ во столько разъ болѣе высоты столба ртути Nm, во сколько плотность ртути болѣе плотности воды.

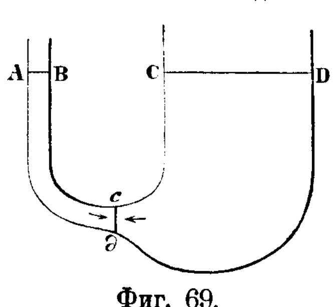


Фиг. 68.

Назвавъ плотности двухъ жидкостей, находящихся въ сообщающихся сосудахъ, буквами D и d, высоты ихъ столбовъ, считая отъ уровня раздѣленія, буквами H и h, будемъ имѣть:

$$\frac{H}{h}=\frac{d}{D}$$

§ 50. Законъ сообщающихся трубокъ ведетъ къ заключенію что давленіе жидкости не зависитъ отъ ея количества. Возьмемъ два налитые жидкостью сообщающіеся сосуда (фиг. 69), одинъ широкій, другой узкій и обратимъ вниманіе на сѣченіе cd. Въ этомъ сѣченіи жидкость широкаго сосуда оказываетъ давленіе справа влѣво, и если бы не было жидкости наполняющей узкій сосудъ, то потребовалась бы стѣнка cd, которая приняла бы это давленіе и удержала жидкость отъ перехода въ узкій сосудъ. Жидкость узкаго сосуда давитъ справа влѣво. Два эти давленія, очевидно, равны между собою, ибо жидкость не переходитъ ни вправо, ни влѣво, что послѣдовало бы, еслибы одно изъ этихъ давленій было болѣе другаго. Отсюда заключаемъ что давленіе жидкости не зависитъ отъ ея количества, такъ какъ малое количество, заключающееся въ узкомъ колѣнѣ можетъ уравновѣшивать давленіе значительной массы заключающейся въ широкомъ сосудѣ.



Фиг. 69.

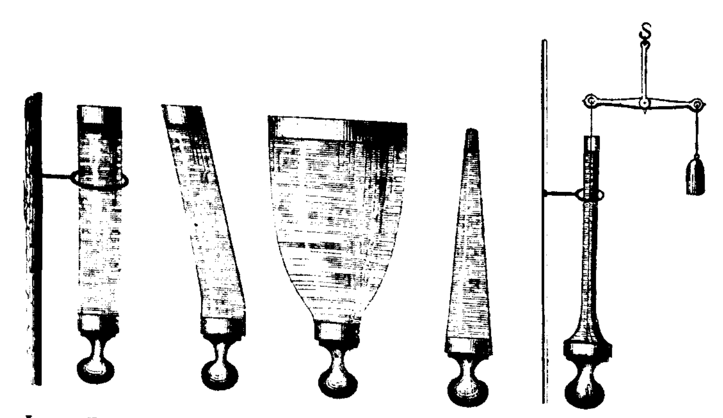
Это размышленіе и вообще открытіе законовъ давленія жидкости въ сосудѣ принадлежитъ голландскому ученому Стевину, изложившему свои изслѣдованія въ сочиненіи выданномъ въ 1586 году. Опыты Стевина *) были воспроизведены и пополнены Паскалемъ **)

*) Стевинъ, голландскій ученый, родился въ Брюггѣ около средины XVI вѣка. Онъ основатель ученія о равновѣсіи на наклонной плоскости и о давленіи жидкостей.

**) Паскаль, знаменитый французскій философъ и математикъ, родился въ Клермонѣ въ 1623 году и былъ сынъ президента суда. Отецъ Паскаля, бывшій въ сношеніяхъ съ знаменитѣйшими учеными Парижа, куда переѣхалъ въ 1631 году, старался дать сыну блестящее образованіе. Паскаль шестнадцати лѣтъ написалъ трактатъ о коническихъ сѣченіяхъ, заслужившій большую похвалу Декарта. При усиленныхъ умственныхъ занятіяхъ онъ отличался слабымъ здоровьемъ. Его главные труды въ математикѣ—сочиненіе о циклоидахъ, рѣшеніе вопросовъ по теоріи

указавшимъ *начало распространенія давленія въ жидкой массѣ*, составляющее главное основаніе механики жидкихъ тѣлъ.

§ 51. Опыты Паскаля надъ давленіемъ жидкости на дно сосуда. „Прикрѣпимъ, говоритъ Паскаль, къ стѣнѣ нѣсколько сосудовъ, одинъ въ родѣ изображеннаго на фиг. 70, другой наклонный какъ на фиг. 71, третій широкій фиг. 72, четвертый узкій какъ фиг. 73, наконецъ пятый (фиг. 74), который есть не что иное какъ тонкая трубка



Фиг. 70. Фиг. 71. Фиг. 72. Фиг. 73. Фиг. 74.

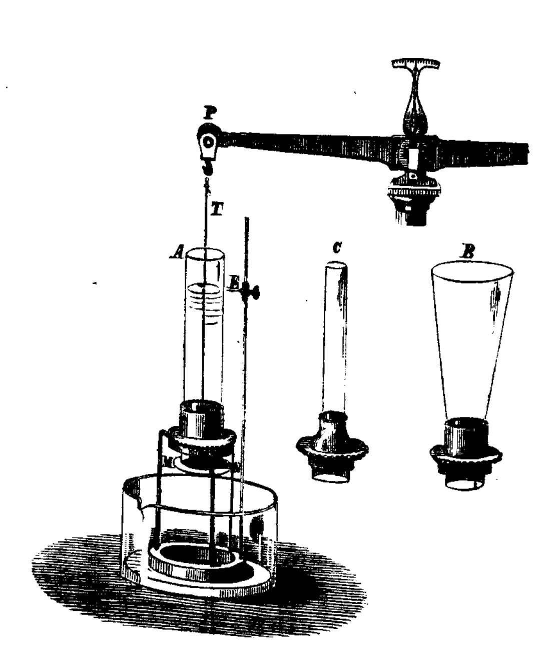
оканчивающаяся внизу расширеніемъ небольшой высоты. Наполнимъ сосуды эти водою до одинаковой высоты, и пусть нижнія ихъ отверстія будутъ закрыты пробками. Опытъ показываетъ что при одинакой вы-

чиселъ и теоріи вѣроятностей, ариѳметическая машина, по физикѣ—ученіе о давленіи жидкихъ тѣлъ и ѳ давленіи атмосферы (опытъ восхожденія на гору съ барометромъ). Умеръ 39 лѣтъ въ 1662 году. Изъ сочиненій изданныхъ при жизни Паскаля особенно много произвели шуму его письма *Les Provinciales* противъ Малинистовъ, имѣвшія множество изданій; сочиненіе *Les Pensees sur la religion* издано послѣ смерти, какъ и трактатъ о давленіи.

сотѣ жидкости во всѣхъ этихъ сосудахъ потребна одинакая сила чтобы удержать пробки и не позволить имъ выдти, хотя количество воды въ разныхъ сосудахъ весьма различно. Мѣра этой силы есть вѣсъ воды, содержащейся въ первомъ сосудѣ: если заключающаяся въ немъ вода вѣситъ сто фунтовъ, то потребна сила во сто фунтовъ, чтобы удержать каждую изъ пробокъ и даже пробку пятаго сосуда, хотя вода въ немъ заключающаяся вѣситъ, можетъ быть, одну унцію. Чтобы оправдать это положеніе точнымъ образомъ, закроемъ отверстіе пятаго сосуда круглымъ кускомъ дерева, облеченнаго паклей какъ поршень насоса, и сдѣлаемъ такъ чтобы этотъ кусокъ ровно приходился по отверстію, не держась въ немъ, но въ то же время не позволяя водѣ выходить. Прикрѣпимъ къ срединѣ такого поршня нить, которую, проведя чрезъ узкій сосудъ, привѣсимъ къ плечу вѣсовъ, обременивъ другое плечо грузомъ во сто фунтовъ. Увидимъ, что этотъ грузъ во сто фунтовъ останется въ равновѣсіи съ водою сосуда вѣсящей одну унцію. Если положимъ хотя нѣсколько менѣе ста фунтовъ, вѣсъ воды тотчасъ опуститъ поршень и плечо вѣсовъ, къ которому онъ привязанъ, и приподыметъ плечо обремененное грузомъ. Между тѣмъ, еслибы эта вода замерзла, но такъ что ледъ не присталъ бы къ сосуду (обыкновенно онъ и не пристаетъ), то другое плечо достаточно бы было обременить грузомъ въ одну унцію чтобы уравновѣсить вѣсъ льда. Но тогда стоило бы приблизить огонь къ сосуду и растопить ледъ, какъ тотчасъ потребовался бы грузъ во сто фунтовъ, чтобъ уравновѣсить дѣйствіе растопленнаго льда, хотя вѣсъ его предполагается въ одну унцію.“

Въ маломъ видѣ опытъ Паскаля можно повторить съ слѣдующимъ снарядомъ. Сосудъ (фиг. 75) помѣщается на металлическомъ треножникѣ; къ его нижнему открытому отверстію, котораго края ровно отшлифованы, прикладывается подвижное дно,

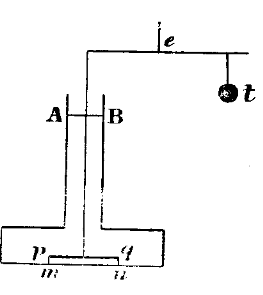
состоящее изъ плоскаго стекляннаго кружечка, удерживаемаго на нити привѣшенной къ коромыслу вѣсовъ. Грузъ, положенный



Фиг. 75.

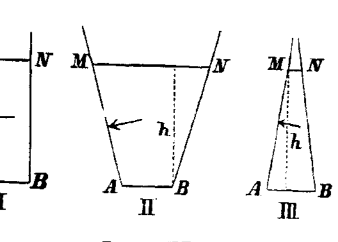
на другую чашку вѣсовъ, прижимаетъ кружокъ къ отверстію, которое такимъ образомъ плотно закрывается. Осторожно наливаютъ воды въ сосудъ до тѣхъ поръ, пока дно, не выдерживая давленія сверху внизъ, станетъ отдѣляться, и у нижняго края покажутся капли жидкости. Понятно, что въ этотъ моментъ давленіе на дно равняется той силѣ, которая прижимаетъ дно къ отверстію, и которая измѣряется величиною груза, положеннаго на чашку вѣсовъ. Можно убѣдиться, что въ случаѣ цилиндрическаго сосуда A, это давленіе будетъ равно вѣсу столба жидкости, заключающагося въ этомъ сосудѣ. Замѣнивъ цилиндрическій сосудъ послѣдовательно сосудами различной формы, но которыхъ нижнее отверстіе одинаково, убѣдимся, что стеклянный кружокъ будетъ отдѣляться въ тотъ моментъ, когда жидкостъ достигаетъ того же уровня (обозначаемаго показателемъ E), какъ и въ случаѣ цилиндрическаго сосуда.

Фиг. 76 изображаетъ опытъ въ той формѣ какъ его производилъ и описалъ Стевинъ, прикрывавшій отверстіе деревяннымъ кружкомъ pq.



Фиг. 76.

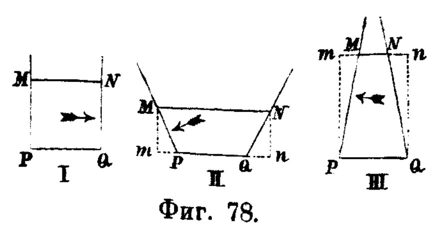
Итакъ давленіе на дно не зависитъ отъ формы сосуда, а зависитъ только отъ площади дна и его разстоянія отъ уровня жидкости. Будучи въ сосудахъ разнообразной формы, но равнаго дна, одинаково съ вертикальнымъ цилиндромъ, гдѣ все количество жидкости давитъ на дно, оно равняется ***вѣсу столба жидкости котораго основаніе есть дно сосуда, а высота — разстояніе дна отъ уровня.***



Фиг. 77.

Такимъ образомъ давленіе на дно въ сосудахъ I, II, III, имѣющихъ (фиг. 77) равное дно AB, одинаково, не смотря на то что количество помѣщающейся въ каждомъ изъ нихъ жидкости различно.

Но отсюда не слѣдуетъ, чтобы взвѣшивая на вѣсахъ данное количество жидкости, мы получали различный вѣсъ, смотря потому, какова форма сосуда, въ которомъ производится взвѣшиваніе. Помѣщая на чашку вѣсовъ сосуды, I, II, III, (фиг. 78)

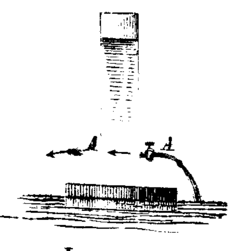


Фиг. 78.

съ налитымъ въ каждый килограммомъ воды, мы получимъ для вѣса заключающейся въ нихъ жидкости одинаковую величину, равную ея истинному вѣсу, несмотря на то что давленіе на дно въ этихъ трехъ сосудахъ будетъ весьма неодинаково, такъ

какъ то же количество жидкости наполнитъ ихъ до разной высоты. Но не должно забывать что, кромѣ давленія на дно, жидкость производитъ давленіе на стѣнки сосуда. Это давленіе въ случаѣ сосуда III направлено наклонно снизу вверхъ, и даетъ слагающую, которая дѣйствуетъ противоположно давленію на дно и уменьшаетъ дѣйствіе послѣдняго на чашку вѣсовъ. Въ случаѣ сосуда II давленіе на боковыя стѣнки, дѣйствующее сверху внизъ, прибавляется къ давленію на дно, такъ что общее давленіе равняется вѣсу наполняющей сосудъ жидкости. Въ цилиндрическомъ сосудѣ боковыя давленія горизонтальны; слѣдовательно, не стремятся ни поднимать, ни опускать сосудъ, и не имѣютъ вліянія на величину вертикальнаго давленія.

§ 52. Давленіе на стѣнки сосуда. Давленіе жидкости обнаруживается не только на днѣ, но и въ каждомъ мѣстѣ сосуда лежащемъ ниже уровня жидкости, какъ уже было упомянуто въ § 43. Давленія на стѣнки сосуда уничтожаются взаимно. Это можно доказать, помѣстивъ сосудъ на поплавкѣ или на колесахъ. Еслибы давленіе въ какую-нибудь сторону превозмогало, то, очевидно, сосудъ пришелъ бы въ движеніе въ сторону большаго давленія. Между тѣмъ опытъ показываетъ что онъ остается въ покоѣ. Но если въ одной изъ стѣнокъ (фиг. 79) сдѣлать отверстіе, то равновѣсіе давленій нарушится. Давленіе на стѣнку гдѣ нѣтъ отверстія, превозмогаетъ, и весь сосудъ отступаетъ въ сторону противоположную истеченію.



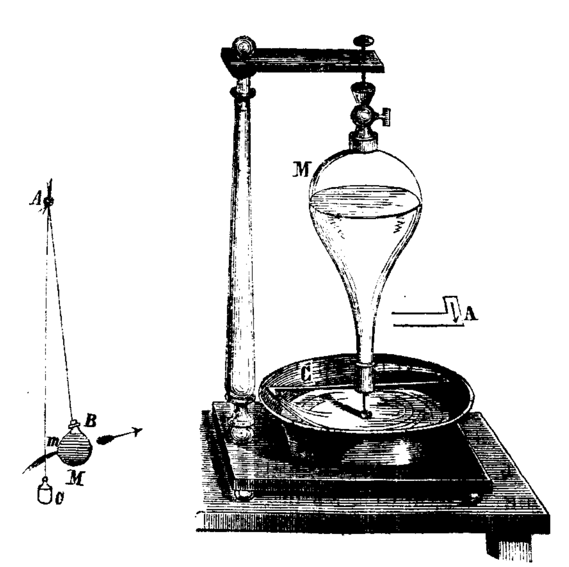
Фиг. 79.

Если сосудъ, изъ котораго вытекаетъ струя, повѣшенъ на нити (фиг. 80), то, вслѣдствіе боковаго давленія сосудъ уклоняется отъ отвѣснаго направленія нить AC.

Снарядъ, носящій названіе *Сегнерова* *) *колеса*, основанъ на томъ же началѣ. Это сосудъ, наполненный

*) Сегнеръ, извѣстный математикъ и физикъ, родился 1704 г., умеръ 1777; былъ профессоромъ въ Гётингенскомъ и другихъ университетахъ.

водою и вращающійся около вертикальной оси (фиг. 81). При его основаніи находятся двѣ или нѣсколько горизонтальныхъ загнутыхъ въ одну сторону трубокъ. Какъ скоро вода вытекаетъ изъ отверстій трубокъ, то своимъ противодѣйствіемъ она заставляетъ



Фиг. 80. Фиг. 81.

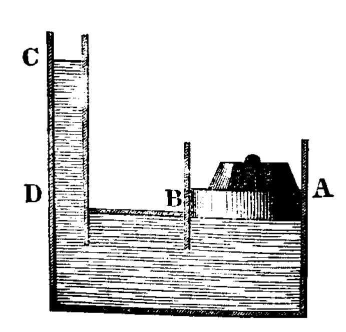
эти трубки отступать, а снарядъ вращаться около вертикальной оси.

Замѣтимъ еще что при истеченіи газообразныхъ тѣлъ также обнаруживается противодѣйствіе, какъ и при истеченіи жидкихъ. Пушка отступаетъ въ сторону противоположную направленію выстрѣла, ружье ударяетъ въ плечо стрѣляющаго; ракета поднимается вверхъ вслѣдствіе давленія, какое испытываетъ ея верхняя закрытая стѣнка, тогда какъ чрезъ нижнее отверстіе вытекаетъ струя воспламененнаго вещества.

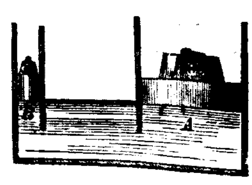
§ 53. Общее начало распространенія давленія въ жидкой массѣ, выведенное Паскалемъ и объясняющее различные случаи давленія жидкостей. Для объясненія изъ одного общаго начала различныхъ случа-

евъ давленія жидкостей мы должны различать: 1) жидкость какъ тѣло *давящее* своимъ вѣсомъ и 2) жидкость какъ тѣло *передающее* давленіе и которое сохранило бы это свойство, если бы и не имѣло вѣса. Въ слѣдующей формѣ опыта, указанной Паскалемъ, два эти обстоятельства выступаютъ на видъ яснѣе чѣмъ въ описанныхъ выше.

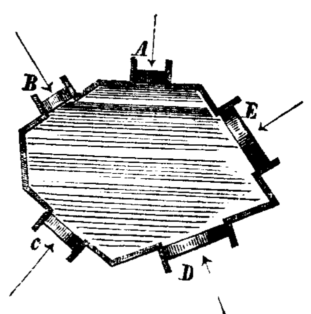
„Возьмемъ, говоритъ онъ, сосудъ закрытый со всѣхъ сторонъ и сдѣлаемъ въ немъ вверху два отверстія, одно очень узкое, другое широкое. Припаяемъ трубки той же ширины какъ отверстіе (фиг. 82). Помѣстивъ поршень въ широкое отверстіе и наливъ воды въ узкое, увидимъ что на поршень надо положить большой грузъ для того чтобы вода узкой трубки не подвинула его вверхъ.“ Здѣсь, въ узкой трубкѣ давитъ вѣсъ маленькой колонны жидкости, въ широкой—грузъ лежащій на поршнѣ. Жидкость сосуда служитъ для взаимной передачи давленій и подобно рычагу съ неравными плечами *уравновѣшиваетъ большой грузъ малымъ вѣсомъ* колонны воды въ узкой трубкѣ. Вмѣсто воды могли бы въ узкой трубки помѣстить поршень съ малымъ грузомъ (фиг. 83), и имѣли бы простѣйшій случай равновѣсія давленій при помощи жидкой массы. Въ этихъ опытахъ жидкость сосуда участвуетъ очевидно только какъ среда передающая давленіе, и явленіе было бы тоже самое если бы она сама по себѣ не имѣла вѣса. Разница



Фиг. 82.


Фиг. 83.

лишь въ томъ что въ такомъ случаѣ не было бы надобности помѣщать отверстія на верху сосуда. Потому можно сказать вообще: если на какую нибудь часть жидкости заключенной въ замкнутомъ со всѣхъ сторонъ сосудѣ (фиг. 84), производится извнѣ внутрь давленіе, котораго величина, приведенная къ единицѣ поверхности, выражается какимъ нибудь вѣсомъ p, то вся поверхность сосуда испытываетъ давленіе по направленію изнутри, и притомъ такъ что каждой единицѣ поверхности соотвѣтствуетъ давленіе равное p. Другими словами, это можно выразить такъ: *давленіе на одну часть жидкости распространяется во всѣ стороны безъ потери.*



Фиг. 84.

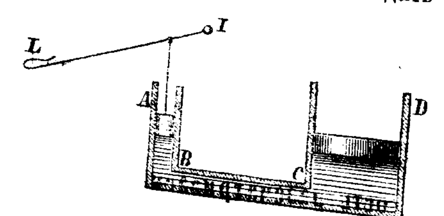
§ 54. Жидкость разсматриваемая какъ машина передающая давленіе. „Такимъ образомъ, говоритъ Паскаль, сосудъ съ водою есть какъ бы новый принципъ механики, новая машина для умноженія силы до какой угодно степени. Этимъ средствомъ человѣкъ можетъ поднять какой угодно грузъ. Замѣчательно что и въ этой машинѣ соблюдается общее правило, какъ у старыхъ: рычага, ворота, безконечнаго винта, то есть что путь (проходимый побѣждающимъ препятствіе двигателемъ) увеличивается въ той же пропорціи какъ сила *). Дѣйствительно, если одно отверстіе во сто, напримѣръ, разъ болѣе другаго, то ясно что человѣкъ толкающій малый поршень опуститъ его на дюймъ въ то время какъ большой поднимется лишь на сотую долю дюйма, ибо передача дав-

*) Правило это для рычага указано въ § 12.

ленія происходитъ вслѣдствіе непрерывности массы воды соединяющей два поршня, изъ коихъ одинъ не можетъ двинуться не перемѣщая другаго; а когда малый поршень подвинется на дюймъ, вода которую онъ вытѣсняетъ, перейдя въ каналъ во сто разъ болѣе широкій, займетъ лишь сотую долю высоты... Въ этомъ и истинная причина дѣйствія, ибо ясно что одно и тоже заставить сто фунтовъ воды пройти одинъ дюймъ, или одинъ фунтъ—сто дюймовъ.“

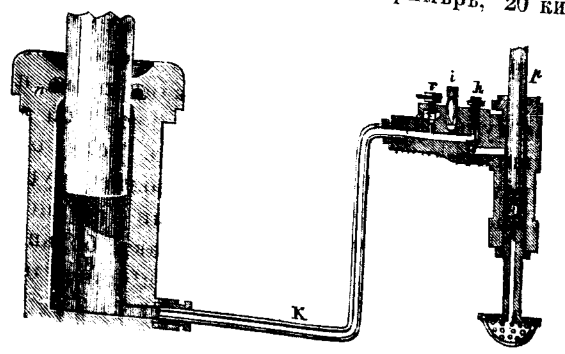
§ 55. Гидравлическій прессъ. Идея Паскаля о машинѣ, дѣйствующей гидростатическимъ давленіемъ, была осуществлена въ послѣдствіи подъ именемъ *гидравлическаго пресса*, употребляемаго для сжатія тѣлъ.

Если при помощи рычага (фиг. 85) производить на поршень



Фиг. 85.

помѣщенный при поверхности жидкости въ колѣнѣ *AB*, котораго сѣченіе, положимъ, въ 100 разъ менѣе сѣченія колѣна *CD*, давленіе нѣсколько превышающее, напримѣръ, 20 килограм-

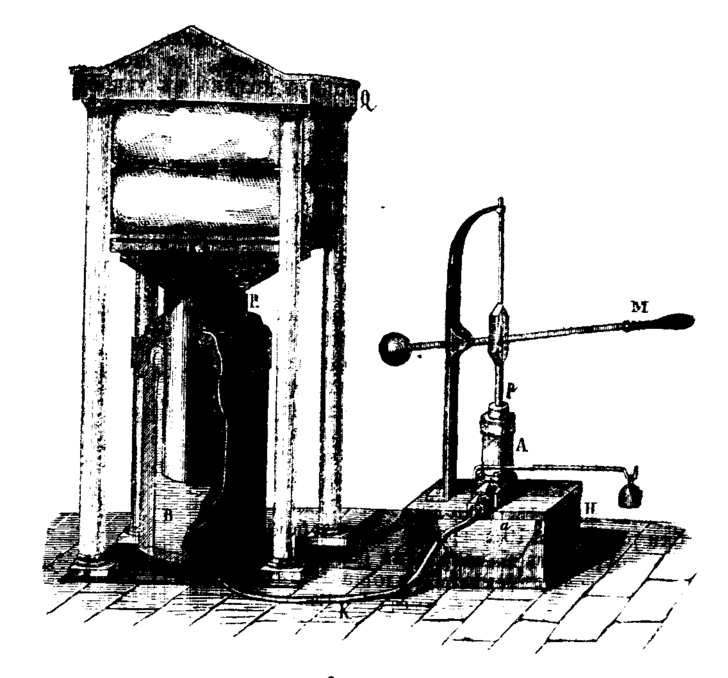


Фиг. 86.

мовъ, то это давленіе, по закону Паскаля, въ состояніи будетъ поднять грузъ равный 20×100=2000 килограмм., положенный на поршень въ широкомъ колѣнѣ.

При осуществленіи такого опыта на практикѣ встрѣчается одно важное затрудненіе, а именно поршень долженъ столь плотно входить въ широкое колѣно, что, несмотря на значительное давленіе, вода не должна проникать между поршнемъ и стѣнками. Это затрудненіе было устранено въ началѣ нынѣшняго столѣтія англійскимъ механикомъ Брама (Bramah).

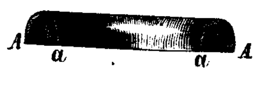
Фиг. 86 и 87 представляютъ изображеніе и разрѣзъ гидра-



Фиг. 87.

влическаго пресса. Поршень состоящій изъ металлическаго цилиндра надавливаетъ на жидкость узкаго колѣна помощію рычага *M*. и гонитъ ее чрезъ трубку *K* въ широкое цилиндрическое колѣно, въ которомъ находится поршень *P*. На верхнюю платформу поршня *P* помѣщаются предметы, назначенные для сжатія. Чтобы вода не могла просачиваться между стѣнками цилиндра и тѣломъ поршня, вокругъ верхней части этого послѣдняго проходитъ каналъ, въ который вкладывается

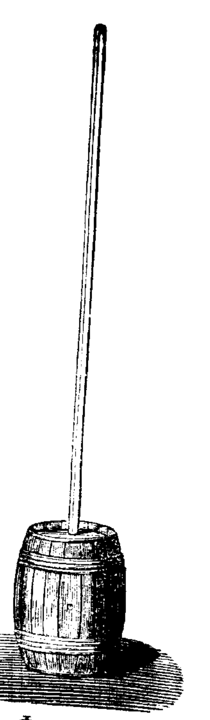
кожаная оправа, имѣющая форму кольцеобразнаго жолоба *AA aa* (фиг. 88). Край *aa* этого жолоба касается поршня, край *AA*—стѣнокъ. Вода проникаетъ подъ сводъ этого жолоба, прижимаетъ его края къ поршню и стѣнкамъ, и такимъ образомъ тѣмъ сильнѣе закрываетъ промежутокъ между ними, чѣмъ значительнѣе давленіе.



Фиг. 88.

Чтобы можно было надавливаніе повторить много разъ, перегоняя всякій разъ воду изъ узкаго колѣна въ широкое, устроены два клапана, одинъ при началѣ трубки *K*, другой при основаніи узкаго колѣна. Когда надавливающій поршень *P* идетъ вверхъ, клапанъ трубки, закрываясь, не позволяетъ водѣ двинуться обратно изъ широкаго колѣна въ узкое; клапанъ же при основаніи открывается и узкое колѣно, дѣйствуя какъ насосъ, вбираетъ воду изъ резервуара *a*.

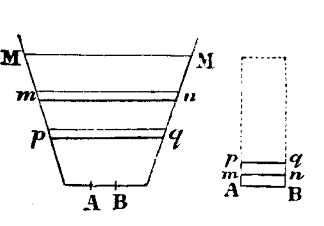
§ 56. Примѣръ значительнаго давленія помощію небольшаго количества жидкости. Слѣдующій старый опытъ весьма наглядно показываетъ, какъ помощію небольшаго количества жидкости можно произвести огромное давленіе. Въ верхней доскѣ (фиг. 89) бочки, наполненной водою, дѣлаютъ отверстіе и укрѣпляютъ трубку съ незначительнымъ внутреннимъ діаметромъ (напримѣръ въ $^1/_2$ центиметра), но весьма длинную. Тогда, если эту трубку наполнить водою, гидростатическое давленіе на дно, стѣнки и вверхъ бочки будетъ такъ значительно, что бочка можетъ лопнуть. Положимъ что длина трубки равняется 10 метрамъ, высота бочки 1 метру, пусть діаметръ дна равняется 60 центиметрамъ (слѣдов. площадь дна будетъ около 0,28 квадр. метр.). Въ такомъ случаѣ дно будетъ выдерживать давленіе столба жидкости, котораго основаніе есть 0,28 квадр. метр, а высота 11 метровъ. Такой столбъ воды вѣситъ болѣе 3000 килограммовъ. Почти столь же значительное давленіе будутъ испытывать стѣнки бочки и верхняя доска, послѣдняя снизу вверхъ.


Фиг. 89.

§ 57. Приложеніе принципа Паскаля къ объясненію различныхъ случаевъ давленія жидкостей. Открытый

Паскалемъ принципъ распространенія давленія полагается въ основаніе объясненія всѣхъ различныхъ случаевъ давленія жидкостей. Приложимъ его, напримѣръ, къ объясненію давленія на дно въ описанномъ выше случаѣ (фиг. 74 на стр. 58) узкой трубки расширяющейся внизу, въ которой слѣдовательно жидкость производитъ давленіе на дно превышающее ея вѣсъ. Въ этомъ случаѣ, говоритъ Паскаль, „основаніе трубки, широкое и невысокое. есть какъ бы сосудъ наполненный водою и имѣющій два отверстія, одно внизу гдѣ поршень—широкое, другое вверху гдѣ узкая часть трубки—малое." На малое отверстіе давитъ сверху вода узкой части, на широкое снизу поршень влекомый уравновѣшивающимъ его грузомъ. Имѣемъ случай подобный изображенному на фиг. 82. То обстоятельство что въ разбираемомъ случаѣ одно отверстіе вверху другое внизу, а не оба на одной сторонѣ какъ на фиг. 82,—не измѣняетъ заключенія.

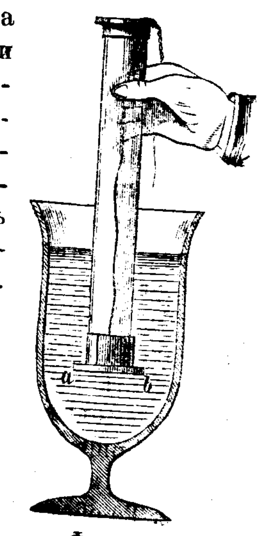
Вообще въ сосудѣ (фиг. 90) наполненномъ жидкостью, каждый слой *pq* давитъ какъ поршень вѣсъ котораго равенъ вѣсу жидкости заключающейся въ слоѣ и который дѣйствуетъ чрезъ отверстіе равное сѣченію слоя. Давленіе передается чрезъ остальную жидкость дну и стѣнкамъ лежащимъ ниже уровня *pq* и дѣйствуетъ на какую-нибудь, напримѣръ, часть дна *AB* пропорціонально отношенію площадей *AB* и *pq*. Такимъ образомъ давленіе испытываемое площадью *AB* будетъ таково какъ если бы на ней непосредственно лежалъ слой жидкости толщиною равный толщинѣ слоя *pq*. Такъ всякій другой слой *mn*. Вообще площадь *AB* испытываетъ давленіе равное вѣсу столба жидкости, котораго основаніе есть *AB*, а высота разстояніе *AB* отъ уровня.



Фиг. 90.

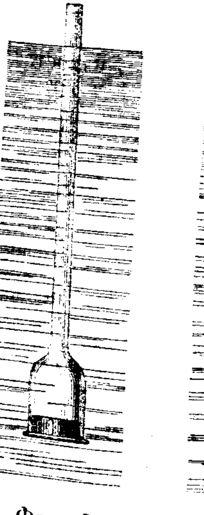
§ 58. Давленіе жидкости на погруженныя тѣла. Опытъ Стевина относительно давленія снизу вверхъ. Опускаютъ въ сосудъ съ водою широкую трубку (фиг. 91), закрывъ ея нижнее отверстіе стеклянымъ

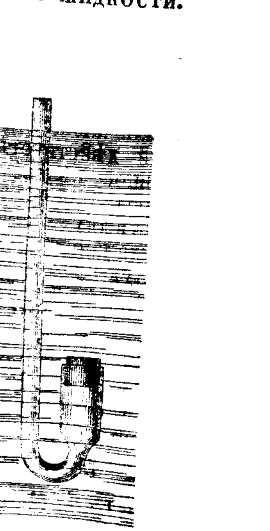
кружкомъ *ab*. Какъ скоро трубка опущена въ воду, нѣтъ надобности поддерживать кружокъ, закрывающій нижнее отверстіе. Онъ не падаетъ, ибо поддерживается давленіемъ жидкости снизу вверхъ. Наливая мало-по-малу воды въ трубку, можно убѣдиться что кружокъ отдѣлится и начнетъ упадать только тогда, когда вода въ трубкѣ достигнетъ приблизительно того же уровня, какъ и въ самомъ сосудѣ. Отсюда слѣдуетъ что поверхность кружка претерпѣваетъ снизу давленіе, равное вѣсу столба жидкости, которому кружокъ служитъ основаніемъ и котораго высота равняется разстоянію кружка отъ уровня жидкости.



Фиг. 91.

§ 59. **Давленіе жидкости на погруженныя тѣла. Опыты Паскаля.** Паскаль бралъ трубку (фиг. 92) длиною до 20 футовъ и влагалъ въ ея нижнее расширенное отверстіе мѣдный цилиндръ *CD* точно пришлифованный, такъ что онъ не пропускалъ воды, хотя и входилъ свободно. Цилиндръ этотъ не падалъ когда трубка была опущена въ рѣку, такъ что конецъ ея былъ внѣ воды. Здѣсь

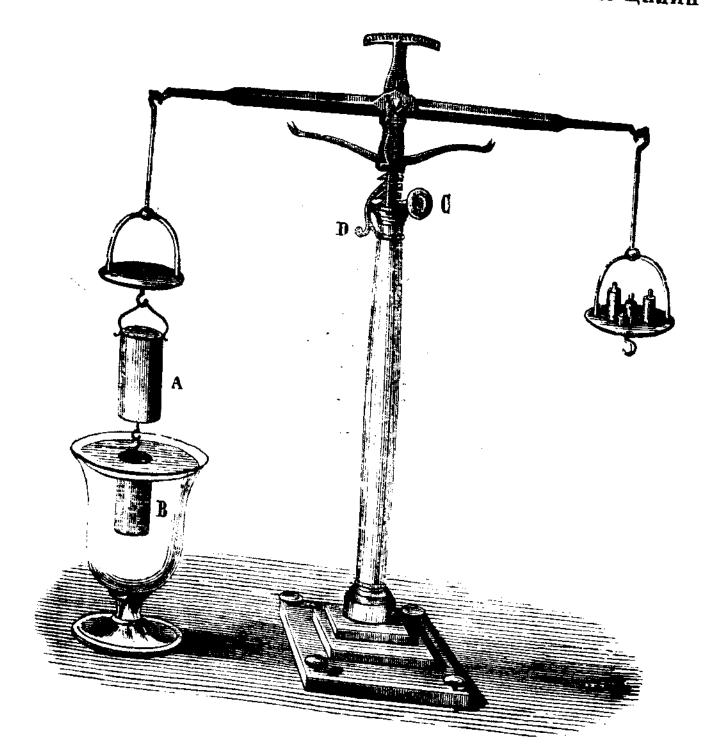

Фиг. 92.


Фиг. 93.

вода давитъ на цилиндръ снизу какъ въ опытѣ Стевина. Взявъ трубку загнутую какъ на фиг. 93, Паскаль закрывалъ ея отверстіе свободно входившимъ, но не пропускавшимъ воды *деревяннымъ* цилиндромъ, по легкости стремившимся подняться вверхъ. Когда такая трубка опущена въ воду, деревянный цилиндръ плотно закрываетъ отверстіе и не только не подымается вверхъ, а испытываетъ, напротивъ, *сверху внизъ* значительное давленіе. Сдѣлавъ трубку такъ чтобъ отверстіе было съ боку, можно доказать существованіе давленія съ боковъ.

§ 60. **Законъ Архимеда**. „И такъ, говоритъ Паскаль, вода давитъ вверхъ тѣла, къ которымъ прикасается снизу, давитъ внизъ тѣ которыхъ касается сверху, давитъ въ бока тѣ которыхъ касается съ боковъ. Отсюда легко заключить что когда все тѣло погружено въ воду, то она, касаясь его и сверху, и снизу, и съ боковъ, давитъ на него сверху, снизу и съ боковъ. И такъ какъ высота воды есть мѣра силы ея давленія, то легко видѣть какое изъ этихъ дѣйствій должно превозмочь. Ясно во-первыхъ что вода, имѣя равную высоту надъ сторонами тѣла съ его боковъ, давитъ на нихъ одинаково, и тѣло не стремится двигаться ни въ ту, ни въ другую сторону, какъ флюгеръ между двумя равными вѣтрами. Но какъ вода имѣетъ больше высоты надъ нижней стороной тѣла, чѣмъ надъ верхней, то ясно, что она гонитъ тѣло снизу вверхъ. И такъ какъ разность высотъ воды есть высота самого тѣла, то легко понять, что вода гонитъ тѣло снизу вверхъ съ силою равною вѣсу одинаковаго съ тѣломъ объема воды". Этотъ законъ открытъ былъ еще Архимедомъ и выраженъ въ такой формѣ: *всякое тѣло погруженное въ жидкость теряетъ столько сколько вѣситъ вытѣсняемый имъ объемъ жидкости*. Оправдать этотъ законъ можно слѣдующимъ опытомъ.

Берутъ два мѣдныхъ цилиндра (фиг. 94). Одинъ B массивный; другой A полый, представляющій собою цилин-



Фиг. 94.

дрическій сосудъ, вмѣстимостью равный объему цилиндра B, такъ что этотъ послѣдній, будучи вставленъ въ A, занимаетъ весь его внутренній объемъ.

Привѣсивъ къ чашкѣ вѣсовъ цилиндръ A и подъ нимъ массивный цилиндръ B, приводятъ вѣсы въ равновѣсіе, положивъ приличный грузъ на вторую чашку. Подставляютъ сосудъ съ водою, такъ чтобы цилиндръ B былъ весь погруженъ въ воду. Равновѣсіе нарушается и перевѣшиваетъ чашка съ грузомъ. Но если наполнить водою цилиндръ A, то равновѣсіе

опять возстановится. И такъ какъ вмѣстимость цилиндра A равняется объему погруженнаго цилиндра B, то видимъ что потерянный этимъ послѣднимъ вѣсъ равенъ вѣсу одинаковаго съ нимъ объема жидкости.

Если тѣло, погружаясь въ жидкость, теряетъ часть своего вѣса, то жидкость пріобрѣтаетъ этотъ потерянный вѣсъ, и погрузить тѣло въ жидкость значитъ то же, что прибавить равный этому тѣлу новый объемъ жидкости. Поставивъ стаканъ съ водою на чашку вѣсовъ и приведя ихъ въ равновѣсіе, погружаемъ въ него цилиндръ B, держа нить, на которой онъ виситъ, въ рукахъ или прикрѣпивъ ее къ неподвижному препятствію. Чашка вѣсовъ гдѣ находится стаканъ тотчасъ перевѣситъ, но чтобы возстановить равновѣсіе, достаточно взять изъ стакана столько воды сколько ея нужно для наполненія цилиндра A. Такимъ образомъ такъ-называемая потеря вѣса при погруженіи тѣла въ жидкость, не есть абсолютная потеря. Потеря вѣса происходитъ оттого, что жидкость давитъ на тѣло снизу вверхъ и поддерживаетъ его; но тѣло въ свою очередь давитъ на поддерживающую его жидкость сверху внизъ.

Вѣсы, служащіе для этихъ опытовъ, называются *гидростатическими*. Ихъ коромысло можно повышать и понижать и къ чашкѣ удобно привѣшивать тѣла.

§ 61. Слѣдствія закона Архимеда. Плаваніе тѣлъ.

„Погруженное въ жидкость тѣло, говоритъ Паскаль, вслѣдствіе ея давленія поддерживается такъ какъ если бы оно было на чашкѣ вѣсовъ, которыхъ другая чашка обременена объемомъ жидкости, равнымъ объему тѣла. Отсюда слѣдуетъ что если тѣло изъ мѣди или другаго матеріала болѣе тяжелаго чѣмъ вода, при томъ же объемѣ, то оно падаетъ въ водѣ, ибо вѣсъ его превозмогаетъ тотъ который стремится его уравновѣсить. Если тѣло изъ дерева или другаго матеріала болѣе легкаго чѣмъ вода, при томъ же объемѣ, то оно поднимается вверхъ съ тою силою какою вѣсъ воды превышаетъ его вѣсъ. Если оно вѣситъ столько же сколько вода, то не опускается и не подымается, какъ воскъ, который приблизительно остается въ водѣ тамъ гдѣ его помѣстятъ *). Отсюда же слѣдуетъ что бадью

*) Подобный случай можно также осуществить, погружая яйцо въ растворъ обыкновенной соли. Яйцо въ чистой водѣ идетъ ко дну; въ густомъ соленомъ растворѣ оно плаваетъ на поверхно-

колодца легко тянуть пока она въ водѣ, но вѣсъ ея тотчасъ даетъ себя чувствовать, когда она начинаетъ выходить изъ воды... Два тѣла, одно изъ мѣди, другое изъ свинца, равнаго вѣса и слѣдовательно неодинаковаго объема (надо болѣе мѣди чтобы получить тотъ же вѣсъ) остаются въ равновѣсіи, будучи положены на чашки вѣсовъ; но если погрузить вѣсы въ воду, то равновѣсіе сейчасъ нарушится, ибо каждое тѣло имѣетъ противувѣсъ въ равномъ себѣ объемѣ воды, а какъ объемъ мѣди больше объема свинцу, то и противувѣсъ ея больше, а потому свинецъ перетянетъ. Когда человѣкъ погруженъ въ воду, вода давитъ на него и сверху и снизу, но онъ вѣситъ больше чѣмъ вода и потому опускается внизъ хотя не такъ скоро какъ падаетъ въ воздухѣ: въ водѣ ему служитъ противувѣсомъ вѣсъ равнаго объема воды, почти одинаковый съ вѣсомъ его тѣла. Если бы вѣса эти были совсѣмъ одинаковы, то человѣкъ плавалъ бы. Давая ударъ о землю или дѣлая нѣкоторыя усилія противъ воды, онъ подымается и плаваетъ... По той же причинѣ человѣкъ погруженный въ ваннѣ безъ труда поднимаетъ руку, пока она въ водѣ, но выйдя изъ воды чувствуетъ что она вѣситъ много, ибо нѣтъ болѣе противувѣса отъ равнаго ей объема воды, какъ было пока она была погружена". Наконецъ, тѣло которое *плаваетъ* на водѣ располагается при ея поверхности такъ что одна часть его остается погруженною въ жидкость, другая внѣ ея. Погруженная часть вытѣсняетъ ровно такое количество жидкости, котораго вѣсъ равенъ вѣсу всего плавающаго тѣла. При этомъ, по выраженію Архимеда, „погруженный

сти. Прибавляя постепенно соли къ чистой водѣ, можно получить растворъ такой густоты, что яйцо будетъ вѣсить ровно столько, сколько вѣситъ равный ему объемъ раствора. Внутри такого раствора яйцо не будетъ ни тонуть, ни подниматься вверхъ, но останется въ равновѣсіи, гдѣ бы его ни помѣстили. Того же можно достигнуть съ масломъ, погруженнымъ въ смѣсь спирта и воды (опыты бельгійскаго ученаго Плато).

объемъ во столько разъ менѣе всего объема тѣла, во сколько вѣсъ тѣла менѣе вѣса равнаго ему объема воды" (это отношеніе выражаетъ плотность).

Выпуклая свинцовая чашка, прибавляетъ, Паскаль „плаваетъ на водѣ потому что занимаетъ много мѣста въ водѣ вслѣдствіе своей фигуры, но если бы это былъ массивный кусокъ, то онъ занималъ бы въ водѣ только мѣсто равное объему своего вещества, а вѣсъ такого объема воды не могъ бы его уравновѣсить".

Можно на поверхность воды положить иголку такъ, что она не потонетъ, а останется на поверхности, какъ тѣло плавающее. Чтобъ этотъ опытъ удался, должно взять сухую иголку, провести ее нѣсколько разъ между пальцами и осторожно положить на воду. Когда иголка проходитъ между пальцами, она покрывается тонкимъ слоемъ жирнаго вещества и потому будучи положена на воду, не смачивается ею. Повинуясь тяжести, она начинаетъ опускаться и образуетъ вокругъ себя пониженіе жидкости, такъ какъ эта послѣдняя ее не смачиваетъ. Чрезъ это образуется углубленіе такой величины, что количество воды, которое можетъ въ немъ помѣститься, равняется вѣсу иголки. Иголка плаваетъ.

§ 62. Давленіе испытываемое погруженными тѣлами и живыми существами на различныхъ глубинахъ. Чѣмъ глубже погруженное тѣло находится внутри жидкости, тѣмъ сильнѣе давленіе, испытываемое каждымъ элементомъ его поверхности, ибо тѣмъ длиннѣе давящій столбъ жидкости. Въ глубинѣ моря это давленіе достигаетъ значительной величины, и погруженное тѣло бываетъ сжато со всѣхъ сторонъ съ огромною силой *). Тѣмъ не менѣе рыбы живутъ на значительной глубинѣ, доходящей до нѣсколькихъ тысячъ метровъ, не испытываютъ неудобствъ отъ давленія воды и движутся во всѣ стороны съ большою живостію. При-

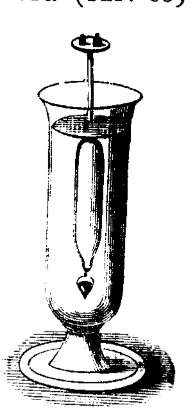
*) Не должно забывать что, общій результатъ этого давленія, сила отъ которой зависитъ пойдетъ ли тѣло внизъ или будетъ подниматься вверхъ—всегда будетъ равна вѣсу вытѣсненной жидкости; а такъ какъ жидкости вообще сжимаются весьма мало, то вѣсъ опредѣленнаго объема жидкости при поверхности и въ глубинѣ будутъ мало разниться.

чина почему животныя въ водѣ не чувствуютъ ея давленія, дѣйствующаго равно со всѣхъ сторонъ, заключается въ томъ что они внутри сами проникнуты жидкостями, которыя сопротивляются давленію внѣшней воды, такъ что ткани животнаго измѣняются не болѣе того какъ измѣнилась бы какая-нибудь тонкая пленка опущенная въ эту глубину. Для поясненія этого предмета Паскаль сдѣлалъ слѣдующій опытъ. „Возьмемъ, говоритъ онъ, стеклянную трубку, закрытую снизу и до половины наполненную водою, въ которую пустимъ муху (муха въ теплой водѣ можетъ жить какъ въ воздухѣ) и помѣстимъ въ трубкѣ поршень, такъ чтобы онъ достигалъ поверхности воды. Если станемъ нажимать поршень съ какою угодно силою, налагая, напримѣръ, на него сверху грузы въ большомъ количествѣ, то надавливаемая вода будетъ давить на все въ ней находящееся. Муха не почувствуетъ никакой боли подъ этимъ сильнымъ давленіемъ, ибо мы увидимъ ее прогуливающеюся съ свободою и живостію вдоль стекла; и она улетитъ какъ скоро освободимъ ее изъ этой темницы."

§ 63. **Приложеніе закона Архимеда къ опредѣленію плотности помощію гидростатическихъ вѣсовъ.** Привѣшиваютъ тѣло къ чашкѣ вѣсовъ на тонкой нити и приводятъ коромысло въ равновѣсіе, положивъ на другую чашку приличный грузъ. Подставивъ стаканъ, погружаютъ тѣло въ воду. Равновѣсіе нарушается, и для возстановленія его должно на чашку къ которой привѣшено тѣло, прибавить опредѣленное количество разновѣсковъ, которое и покажетъ вѣсъ объема воды, равнаго объему тѣла. Раздѣливъ этотъ вѣсъ на вѣсъ тѣла, опредѣлимъ плотность этого послѣдняго.

Еслибы мы хотѣли узнать плотность какой-либо *жидкости*, то погрузивъ одно и то же тѣло послѣдовательно въ воду и въ изслѣдуемую жидкость, опредѣляемъ потерю его вѣса въ водѣ и въ жидкости Пусть въ водѣ тѣло теряетъ вѣсъ P, въ жидкости P'. отношеніе $\frac{P'}{P}$ выразитъ плотность изслѣдуемой жидкости.

§ 64. **Опредѣленіе плотности тѣлъ помощію ареометровъ съ постояннымъ объемомъ. Ареометръ Фаренгейта.**— Ареометръ съ постояннымъ объемомъ есть снарядъ который, будучи опущенъ въ жидкость, погружается въ ней, при помощи налагаемаго груза большей или меньшей величины, всегда на одинаковую часть своего объема. Такой ареометръ былъ устроенъ Фаренгейтомъ*) (1724 г.). Ареометръ Фаренгейта (фиг. 95) изъ стекла и назначается для опредѣленія плотности жидкостей. Въ нижнюю часть наливаютъ ртути для того, чтобы весь инструментъ держался въ жидкости въ вертикальномъ положеніи. Верхняя часть состоитъ изъ узкаго ствола, имѣющаго отмѣтку, до которой снарядъ долженъ погружаться. На верху находится чашечка, на которую можно помѣстить прибавочный грузъ. Вѣсъ всего снаряда соразмѣренъ такъ, что онъ безъ прибавочнаго груза ни въ одной изъ жидкостей, для опредѣленія плотности которыхъ назначается, не погружается до отмѣтки.

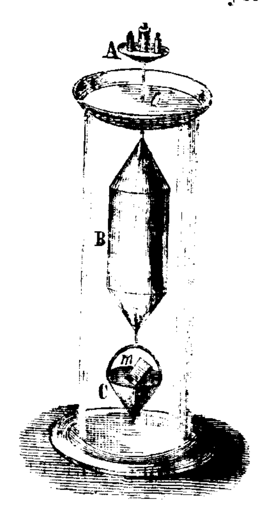


Фиг. 95.

Прежде всего опредѣляютъ вѣсъ самаго ареометра, потомъ погружаютъ его въ воду и опредѣляютъ, какой вѣсъ должно положить на верхнюю чашку для того, чтобы снарядъ погрузился ровно до отмѣтки. Положимъ, напримѣръ, что вѣсъ ареометра равняется

*) Фаренгейтъ, ученый строитель физическихъ инструментовъ, родился въ Данцигѣ въ 1686 году. Онъ замѣнилъ ртутью спиртъ прежде употреблявшійся въ термометрахъ и ввелъ носящее его имя раздѣленіе термометрической скалы, принятое въ Англіи. Умеръ въ 1736 году.

30 граммамъ, и что для погруженія его до отмѣтки въ водѣ должно прибавить на верхнюю чашку 10 грамм. Понятно что вѣсъ вытѣсняемаго ареометромъ объема воды (этотъ вѣсъ всегда равенъ вѣсу всего плавающаго тѣла) будетъ 40 граммовъ. Положимъ что мы хотимъ опредѣлить плотность нѣкоторой жидкости. Погружаемъ ареометръ въ эту жидкость и опредѣляемъ, какой грузъ должно помѣстить на верхнюю чашку для того чтобъ ареометръ погрузился до отмѣтки. Положимъ что достаточно положить 2,76 граммовъ (такъ будетъ приблизительно, если жидкость есть спиртъ). Слѣдовательно вытѣсненный объемъ жидкости вѣситъ 32,76 граммовъ. Но опредѣленные такимъ образомъ вѣсъ воды и вѣсъ жидкости соотвѣтствуютъ тому же вытѣсненному объему, и слѣд. плотность жидкости получится, если раздѣлимъ ея вѣсъ на вѣсъ воды. Такимъ образомъ 32,76: 40=0,819 выражаетъ плотность жидкости, которая употреблялась при этомъ опытѣ.



Фиг. 103.

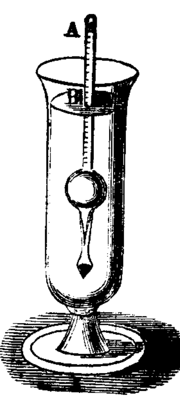
§ 65. Ареометръ Никольсона. Ареометръ Никольсона *) (фиг. 96), представляющій собою видоизмѣненіе ареометра Фаренгейта, можетъ служить и для опредѣленія плотности твердыхъ тѣлъ. Этотъ инструментъ, удобный для употребленія при геологическихъ и минералогическихъ экскурсіяхъ, такъ какъ его легко переносить съ собою, дѣлается изъ металла и имѣетъ внизу чашечку, на которую можно положить испытуемое тѣло. Помощію этого снаряда плотность даннаго тѣла опредѣляется

*) Англійскій химикъ и физикъ конца прошлаго и начала нынѣшняго столѣтія (род. 1753 г.). Первый (вмѣстѣ съ Карлейлемъ) наблюдалъ разложеніе воды гальваническимъ токомъ.

слѣдующимъ образомъ. Положимъ что для погруженія ареомѣтра до отмѣтки въ водѣ должно на верхнюю чашку положить грузъ въ 20 граммовъ. Возьмемъ кусокъ изслѣдуемаго тѣла, такой величины, чтобъ его вѣсъ былъ менѣе 20 граммовъ. Понятно что, помѣстивъ такой кусокъ вмѣсто груза на верхнюю чашку, мы не въ состояніи будемъ погрузить ареометръ до отмѣтки: надо будетъ еще прибавить столько разновѣсковъ, чтобы вѣсъ тѣла вмѣстѣ съ вѣсомъ разновѣсковъ составилъ 20 граммовъ. Пусть вѣсъ прибавленныхъ разновѣсковъ будетъ 4 грамма; въ такомъ случаѣ 20—4=16 будетъ вѣсъ тѣла. Перекладываемъ тѣло съ верхней чашки на нижнюю; тогда это тѣло, будучи погружено въ водѣ, теряетъ часть своего вѣса, именно столько, сколько вѣситъ равный ему объемъ воды. Чтобъ ареометръ опять погрузился до отмѣтки, должно на верхнюю чашку прибавить столько разновѣсковъ, чтобъ они вознаградили потерянный тѣломъ вѣсъ. Положимъ, напримѣръ, что на верхнюю чашку должно къ прежнимъ 4 граммовъ прибавить 7 граммовъ, и слѣд. помѣстить всего 11 граммовъ, дабы ареометръ погрузился до отмѣтки. Эти 7 грамм. обозначаютъ слѣдовательно вѣсъ объема воды равный объему тѣла. Итакъ плотность тѣла будетъ 16: 7=2,3. Понятно что чѣмъ тоньше узкій стволъ снаряда, тѣмъ снарядъ чувствительнѣе. Но не должно думать чтобъ этимъ способомъ можно было достичь значительной точности. Прилипаніе воды къ тонкому стволу и къ самому тѣлу снаряда ведетъ къ неизбѣжнымъ погрѣшностямъ.

§ 66. Ареометры съ постояннымъ вѣсомъ. Опредѣленіе плотности по изложеннымъ выше методамъ требуетъ болѣе или менѣе продолжительнаго опыта. Но часто бываетъ нужно знать не точную величину плотности, а только степень густоты даннаго раствора, для того чтобы можно было судить удовлетворяетъ ли данная жидкость тѣмъ условіямъ которыя отъ нея требуются. Въ такомъ случаѣ весьма удобно имѣть инструментъ который достаточно погрузить въ жидкость чтобъ убѣдиться имѣетъ ли она желаемую степень плотности. Такой инструментъ есть *ареометръ съ постояннымъ вѣсомъ*, погружающійся въ жидкостяхъ различной плотности до различной глубины. Подобные инструменты были извѣстны еще въ древности. Ареометръ съ постояннымъ вѣсомъ состоитъ обыкновенно изъ цилиндрической стеклянной трубки отъ 15 до 20 центиметровъ длиною (фиг. 97) съ припаян-

нымъ къ ней цилиндрическимъ или сферическимъ резервуаромъ приличнаго объема. Къ этому резервуару присоединяется другой меньшій, куда наливается ртуть, играющая роль балласта для того чтобы снарядъ сохранялъ вертикальное положеніе будучи погруженъ въ жидкость.



Фиг. 97.

Боме*) (1780) ввелъ слѣдующее раздѣленіе ареометра, которое употребляется и нынѣ. Если ареометръ долженъ служить для жидкостей болѣе плотныхъ чѣмъ вода, то его устраиваютъ такъ, что въ водѣ онъ погружается до верхней части ствола (должно прибавить ртути, если онъ не погружается достаточно; убавить, если тонетъ). Это мѣсто отмѣчаютъ на незапаянной еще сверху трубкѣ ареометра. Здѣсь будетъ нуль дѣленій (нуль ареометрической скалы). Потомъ наблюдаютъ, на сколько этотъ ареометръ погружается въ растворѣ состоящемъ изъ 85 частей воды и 15 частей обыкновенной поваренной соли. Отмѣчаютъ и эту точку. Эту длину переводятъ на полоску бумажки, раздѣляютъ на 15 частей и продолжаютъ дѣленія за 15-мъ дѣленіемъ. Вкладываютъ бумажку въ трубку ареометра и приклеиваютъ ее такъ, чтобы дѣленія 0 и 15 соотвѣтствовали чертамъ, отмѣченнымъ на трубкѣ и запаиваютъ верхушку трубки. Изъ опыта извѣстно, до какого дѣленія погружается ареометръ въ различныхъ жидкостяхъ, когда онѣ находятся въ чистомъ видѣ. Погружая въ испытуемую жидкость, смотрятъ, на сколько это погруженіе отличается отъ того, какое должно быть въ чистой жидкости. Такой ареометръ въ концентрированной сѣрной кислотѣ погружается

*) Парижскій ученый аптекарь.

до 66, въ концентрированной азотной до 45 дѣленій и т. д. Чтобъ инструментъ былъ точенъ, трубка его, съ внѣшней поверхности, должна быть строго цилиндрической.

Если ареометръ долженъ служить для жидкостей менѣе плотныхъ чѣмъ вода, то его устраиваютъ такъ, чтобы въ растворѣ, состоящемъ изъ 90 частей воды и 10 ч. соли, онъ погружался только до основанія ствола. Потомъ погружаютъ его въ чистую воду; въ ней онъ погрузится нѣсколько болѣе. Отмѣчаютъ точку погруженія; дѣлятъ пространство между двумя найденными точками на 10 частей и продолжаютъ дѣленія вверхъ (въ предыдущемъ ареометрѣ они шли въ низъ).

Для испытанія количества алкоголя въ спиртѣ (растворъ алкоголя въ водѣ) употребляется *алкоголометръ*, котораго скала показываетъ сколько процентовъ по объему алкоголя (плотности 0,7939) заключается во ста частяхъ жидкости.

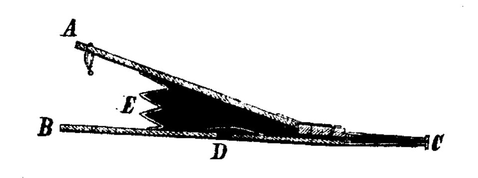
Такъ какъ плотность тѣлъ измѣняется съ температурою, то условлено раздѣленіе ареометра Боме производить при 14° Реомюра, алкоголометра при 12°,5 Реомюра.

§ 67. Задачи. 1. *Задача Гіерона.* Корона изъ золота и серебра вѣситъ P грамовъ; будучи погружена въ воду теряетъ p граммовъ вѣса. Сколько въ ней золота (плотность=19,1) и сколько серебра (плотность=10,4)? 2. Флаконъ наполненный водою вѣситъ p граммовъ. Помѣстивъ на одну и ту же чашку вѣсовъ флаконъ и рядомъ съ нимъ кусокъ даннаго тѣла, находимъ что общій вѣсъ флакона и тѣла есть P. Введя кусокъ тѣла внутрь флакона и тщательно обтеревъ (такъ какъ часть воды выльется при этомъ) находимъ что вѣсъ флакона съ водою и тѣломъ внутри есть Q. Какъ велика плотность испытуемаго тѣла? 3. Какъ велика поверхность (въ квадратныхъ центиметрахъ) тѣла котораго вѣсъ есть p, плотность d и которое имѣетъ форму шара? 4. Какъ велико гидростатическое давленіе снизу вверхъ на тѣло, котораго плотность d, вѣсъ p граммовъ и которое погружено въ жидкость, имѣющую плотность d'? 5. Ареометръ съ постояннымъ объемомъ, котораго вѣсъ есть p граммовъ, погружается до черты въ жидкости имѣющей плотность d. Какой вѣсъ надо прибавить, чтобы этотъ ареометръ погрузился до черты въ жидкости, которой плотность d' (здѣсь $d' > d$? 6. Составить алгебраическія формулы для ареометра съ постояннымъ

объемомъ. 7. Ареометръ съ постояннымъ вѣсомъ вытѣсняетъ v
куб. центиметровъ жидкости, которой плотность d. Какой объемъ
будетъ вытѣсненъ этимъ ареометромъ, если онъ будетъ погру-
женъ въ жидкость, которой плотность d'? 8. На чашку вѣсовъ
поставленъ сосудъ съ водою и уравновѣшенъ грузомъ поло-
женнымъ на другую чашку. Опускаемъ въ сосудъ стеклянный
вертикальный цилиндръ r центиметровъ въ діаметрѣ, держа
этотъ цилиндръ въ рукѣ. Сохранится ли равновѣсіе. и если
нѣтъ, то какой грузъ надо употребить для возстановленія ра-
вновѣсія, если цилиндръ погруженъ на n центиметровъ? 9. По-
дозрѣвается что масса мѣди пуста внутри. Ея вѣсъ въ возду-
хѣ P граммовъ, въ водѣ Q граммовъ. Удѣльный вѣсъ мѣди 8,8.
Спрашивается, если подозрѣніе основательно, какъ великъ объ-
емъ внутренней полости. 10. Два куска, одинъ изъ мрамора,
другой изъ желѣза, привѣшены къ чашкамъ вѣсовъ и, будучи
погружены въ нѣкоторую жидкость, уравновѣшиваются одинъ
другимъ. Отношеніе ихъ дѣйствительныхъ вѣсовъ равняется a;
удѣльный вѣсъ мрамора 2,8, желѣза 7,7. Спрашивается удѣль-
ный вѣсъ жидкости. 11. Платиновая сфера, радіусъ которой r,
привѣшена къ чашкѣ вѣсовъ и погружена во ртуть; подъ дру-
гою чашкою привѣшенъ мѣдный прямой цилиндръ (радіусъ его
основанія тоже r). Цилиндръ погруженъ въ воду. Спрашивает-
ся, какую высоту долженъ имѣть цилиндръ, чтобы было равно-
вѣсіе? Плотность платины 22, ртути 13,5. 12. Платиновая про-
волока въ n метровъ длиною вѣситъ p граммовъ. Какъ великъ
ея діаметръ? 13. Сосудъ, наполненный ртутью, вѣситъ p грам-
мовъ въ воздухѣ, онъ вѣситъ 9 граммовъ въ водѣ. Какъ ве-
ликъ вѣсъ ртути и вѣсъ стекла? Удѣльный вѣсъ стекла 2,5.
14. Кусокъ свинца съ прикрѣпленною къ нему пробкою остает-
ся въ равновѣсіи, будучи погруженъ въ воду. Какое отношеніе
вѣса куска свинца къ вѣсу прикрѣпленной къ нему пробки?
Плотность свинца=11,35; плотность пробки=0,24.

III. Ученіе о газахъ.

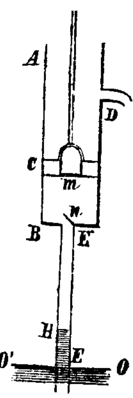
§ 68. Опыты объяснявшіеся, до открытія давленія воздуха, боязнью пустоты. Всякому извѣстно что, опустивъ конецъ трубки въ воду, можно чрезъ другой конецъ ртомъ втянуть воду. Всѣмъ извѣстно также,—извѣстно было и въ глубокой древности,—употребленіе мѣховъ и насосовъ.



Фиг. 98.

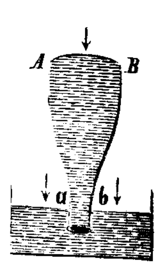
Раздвинувъ стѣнки мѣха (фиг. 98), мы наполняемъ его воздухомъ входящимъ внутрь отчасти чрезъ отверстіе C, а главное чрезъ особое отверстіе D, сдѣланное въ боковой стѣнкѣ и закрытое съ внутренней стороны клапаномъ, представляющимъ собою родъ кожаной дверцы, закрывающейся давленіемъ внутренняго воздуха, когда онъ выгоняется изъ мѣховъ нажимомъ стѣнокъ. Насосъ (въ одной изъ весьма употребительныхъ его формъ) состоитъ изъ цилиндра (фиг. 99), въ которомъ движется поршень C, снабженный клапаномъ m, открывающимся вверхъ; другой клапанъ n, открывающійся также вверхъ, находится при соединеніи цилиндра съ труб-

кою BE, чрезъ которую вода втягивается въ тѣло насоса. Какъ показываетъ опытъ, поршень, подымаясь вверхъ, привлекаетъ воду входящую въ трубку BE, а послѣ нѣсколькихъ качаній и въ самое тѣло насоса; при этомъ клапанъ n открывается входящею водою, а клапанъ m остается закрытымъ. Когда поршень идетъ внизъ, тогда давимая имъ вода закроетъ клапанъ n, откроетъ вверхъ клапанъ m, перейдетъ въ пространство надъ поршнемъ, мало-по-малу достигнетъ отверстія D, и станетъ переливаться пока продолжается качаніе. Извѣстно, наконецъ, что если бутылку наполнимъ водою и, закрывъ отверстіе пальцемъ, пробкой или стеклянной пластинкой, погрузимъ въ воду и откроемъ отверстіе подъ водою, тогда вода не выльется (фиг. 100) и будетъ попрежнему наполнять сосудъ.



Фиг. 99.

Чтобъ объяснить эти общеизвѣстныя явленія, ученые до средины почти XVII вѣка принимали что природа не терпитъ пустоты (*horror vacui*), и какъ скоро изъ какого-нибудь мѣста вытѣсняется занимающее его вещество, окружающія тѣла тотчасъ направляются въ это мѣсто чтобы его наполнить. Согласно этому ученію, вода вступаетъ при всасываніи въ трубку, чтобы замѣстить пустоту имѣвшую образоваться чрезъ удаленіе втягиваемаго воздуха ртомъ. По той же будто бы причинѣ воздухъ входитъ въ полость раздвинутаго мѣха. Поднимающійся поршень насоса, говорили, увлекаетъ находящееся подъ нимъ вещество, и вода не выливается изъ опрокинутой бутылки, ибо иначе подъ поршнемъ и въ бутылкѣ образовалась бы пустота.



Фиг. 100.

§ 69. Наблюденіе Галилея надъ поднятіемъ воды въ длинномъ насосѣ. Идеи Торричелли. Галилей замѣтилъ явленіе не объяснявшееся изъ господствовавшаго ученія о боязни пустоты.

„Я видѣлъ, говоритъ онъ *), разъ цистерну, въ которой, чтобы доставать изъ нея воду, поставили насосъ, думая, но напрасно, съ меньшимъ трудомъ подымать то же или большее количество воды чѣмъ обыкновенными ведрами. Насосъ этотъ имѣлъ свой поршень или клапанъ сверху, такъ что вода подымалась притяженіемъ (всасываніемъ), а не нагнетаніемъ, какъ бываетъ въ насосахъ у которыхъ приборъ снизу. Насосъ, пока вода въ цистернѣ стояла на опредѣленной высотѣ, тянулъ ее обильно; но когда вода опускалась ниже извѣстнаго предѣла—не дѣйствовалъ болѣе. Я подумалъ, когда въ первый разъ увидѣлъ такой случай, что механизмъ былъ испорченъ, и когда нашелъ мастера чтобъ его исправить, то онъ сказалъ мнѣ что тутъ нѣтъ никакого недостатка, а причина въ водѣ, которая опустившись слишкомъ низко не выносила поднятія на такую высоту; и онъ прибавилъ мнѣ что ни насосами, ни иною какою машиной, которая бы подымала воду притяженіемъ, не возможно заставить ее подняться ни на волосъ болѣе 18 приблизительно локтей (около 10 метровъ). Будетъ ли насосъ широкій или узкій—это во всякомъ случаѣ предѣлъ высоты".

Галилей, впрочемъ, не видѣлъ въ этомъ опытѣ прямаго опроверженія ученія о боязни пустоты и весьма оригинальнымъ образомъ хотѣлъ согласить его съ идеею о превлекающемъ дѣйствіи пустоты. Онъ продолжаетъ:

„Извѣстно что, укрѣпивъ верхнимъ концемъ веревку, деревянный шестъ и желѣзный прутъ, можно взять ихъ такой длины что наконецъ ихъ собственный вѣсъ разорветъ ихъ... То же должно случиться съ веревкой или прутомъ состоящими изъ воды. А что иное притягивается въ насосѣ, какъ не цилиндръ воды, который имѣетъ свое прикрѣпленіе сверху и удлинняясь бо-

*) Въ *Разговорахъ о механическихъ ученіяхъ*.

лѣе и болѣе, наконецъ доходитъ до того предѣла, далѣе котораго уже разрывается своимъ вѣсомъ точно такъ какъ еслибы то была веревка? И то же самое должно происходить, по моему мнѣнію, и съ другими жидкостями—ртутью, виномъ, масломъ и пр., въ которыхъ разрывъ сдѣлался бы на высотѣ меньшей или большей 18 локтей, смотря по большей или меньшей плотности этихъ жидкостей сравнительно съ водою. Высоты эти во всякомъ случаѣ должны измѣряться вертикально“.

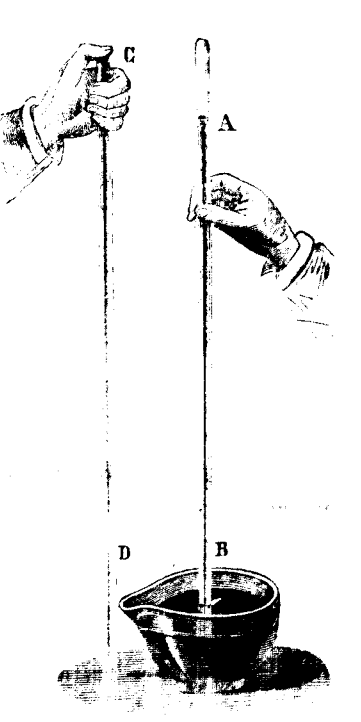
Ученикъ Галилея, Торричелли, *) напалъ на иную мысль. Принявъ въ соображеніе что воздухъ есть тѣло имѣющее вѣсъ, **) онъ заключилъ что его верхніе слои должны прижимать нижніе, и онъ долженъ потому оказывать давленіе на омываемыя имъ тѣла. Повѣрить эту мысль помощію изученія опыта Галилея съ тридцати-футовою трубкою было затруднительно по значительности размѣровъ снаряда. Но сообразивъ что ртуть въ тринадцать разъ тяжелѣе воды, Торри-

*) Евангелиста Торричелли родился въ 1608 году въ Фаенцѣ, учился въ Римѣ, умеръ въ 1647 году профессоромъ математики и философіи во Флоренціи. Кромѣ изобрѣтенія барометра, извѣстенъ изслѣдованіями движенія брошенныхъ тѣлъ и открытіемъ закона истеченія жидкостей.

**) Галилей зналъ что воздухъ имѣетъ вѣсъ и опредѣлилъ его слѣдующимъ образомъ: „Взявъ стклянку съ узкимъ горлышкомъ, довольно вмѣстительную, я покрылъ ее, вмѣсто пробки, кускомъ кожи, имѣвшимъ форму наперстка, и завязалъ края этой кожи какъ можно плотнѣе вокругъ шейки сосуда. Въ верхней части наперстка находилось отверстіе, снабженное особаго рода клапаномъ. Помощію этого прибора и обыкновенной спринцовки, я насильно вогналъ въ стклянку большое количество воздуха, такое что, не будь онъ сжатъ, имъ можно бы наполнить двѣ или три подобныя стклянки. Потомъ на весьма точныхъ вѣсахъ взвѣсилъ стклянку вмѣстѣ съ заключеннымъ въ ней воздухомъ, причемъ, для большей точности, вмѣсто гирь употребилъ мелкій песокъ. Наконецъ, открывъ клапанъ и давъ исходъ воздуху изъ сосуда, я помѣстилъ его опять на ту же чашечку вѣсовъ и увидѣлъ что прежнее ихъ равновѣсіе нарушилось: чашечка съ гирями перетянула чашечку съ сосудомъ. Чтобы возстановить равновѣсіе, пришлось съ первой чашечки снять нѣкоторое количество песка, которое я осторожно собралъ въ одно мѣсто. Безъ сомнѣнія, въ этомъ случаѣ вѣсъ снятаго песка равнялся вѣсу воздуха, насильственно вдавленнаго въ стклянку и потомъ вытекшаго изъ ней.“

челли пришелъ къ заключенію (къ которому какъ мы видѣли приходилъ уже и Галилей) что употребляя эту жидкость можно сдѣлать опытъ подобный опыту съ насосомъ, помощію трубки гораздо меньшихъ размѣровъ и болѣе простымъ образомъ. Ожиданія Торричелли оправдались, и такимъ образомъ произошелъ знаменитый опытъ, послужившій основаніемъ для устройства снаряда называемаго *барометромъ*. Опытъ этотъ сдѣланный въ 1643 г. состоитъ въ слѣдующемъ

§ 70. Опытъ Торричелли. Взявъ стеклянную трубку, длиною около метра, запаянную съ одного конца и открытую съ другаго, наполняютъ ее ртутью, и закрывъ отверстіе плотно пальцемъ, опрокидываютъ трубку, опуская ея отверстіе въ чашечку со ртутью (фиг. 101) и отнимая палецъ отъ отверстія подъ ртутью. Ртуть опускается въ трубкѣ и останавливается на опредѣленной высотѣ между 700 и 800 миллим., считая отъ свободной поверхности ртути въ чашкѣ. Еслибы трубка была короче этой высоты, напр. 600 или 500 миллим., то она вся осталась бы наполненною ртутью, и мы имѣли бы опытъ совершенно подобный опыту съ опрокинутою бутылкою наполненною водою.



Фиг. 101.

Не трудно убѣдиться что пространство вверху трубки, называемое *Торричелліевою пустотою*, не заключаетъ въ себѣ воздуха. Погружая глубже въ ртуть конецъ трубки, или наклоняя ее въ бокъ, увидимъ что пустое пространство будетъ становиться менѣе и менѣе и наконецъ все наполнится ртутью (если только при наполненіи трубки ртутью въ ней не оставалось нисколько воздуха). То же доказываетъ слѣдующій опытъ. Нальемъ въ чашку, въ которую погружена трубка со ртутью, воды поверхъ ртути и станемъ поднимать трубку до тѣхъ поръ, пока ея отверстіе, выйдя изъ ртути, перейдетъ въ пространство наполненное водою. Тогда колонна ртути не останется выше воды, но ртуть выйдетъ изъ трубки и замѣнится водою, которая быстро наполнитъ ее *всю*, не оставляя вверху пустоты. Опытъ Торричели можно также произвести наполнивъ ртутью двухколѣнную трубку запаянную при концѣ длиннаго и открытую при концѣ короткаго колѣна, и поставивъ ее какъ изображено на фиг. 102 Такая трубка называется *сифонною* барометрическою трубкою.

Фиг. 102.

§ 71. Объясненіе опыта Торричелли давленіемъ воздуха. Опытъ Торричелли, очевидно, вполнѣ объясняется, если допустимъ, какъ допустилъ этотъ ученый, что воздухъ давитъ на всѣ тѣла. Внутри трубки, надъ ртутью, нѣтъ воздуха и слѣд. поверхность ея не испытываетъ давленія, тогда какъ на ртуть въ чашкѣ давленіе это обнаруживается и удерживаетъ ртуть въ трубкѣ на такой высотѣ, при которой давленіе воздуха на ртуть внѣ трубки уравновѣшивается давленіемъ внизъ тяжелой колонны ртути внутри трубки. Если отбить запаянную верхушку трубки, то воздухъ проникаетъ въ Торричелліеву пустоту, и ртуть тотчасъ опускается. Если верхній конецъ трубки не запаянъ, но только закрытъ хорошо приточеннымъ краномъ, то можно, открывъ на мгновеніе кранъ, впустить немного воздуха въ трубку. Ртуть понизится, но все еще внутри трубки будетъ стоять выше, чѣмъ въ чашечкѣ. Давъ воздуху свободный доступъ, увидимъ, что, когда воздухъ въ трубкѣ придетъ въ равновѣсіе съ окружающимъ, ртуть остановится на одномъ уровнѣ внутри и внѣ трубки.

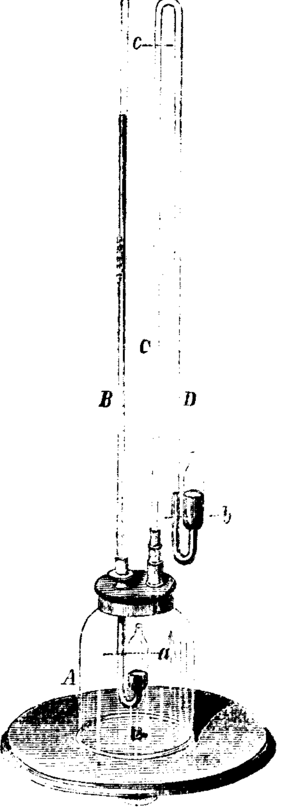
§ 72. Приложеніе идеи Торричелли о давленіи воздуха къ объясненію явленій прежде объяснявшихся боязнью пустоты. Идея Торричели о давленіи воздуха не только служитъ вполнѣ естественнымъ объясненіемъ его опыта, но и чрезвычайно просто объясняетъ всѣ явленія причину которыхъ прежде искали въ боязни пустоты. При всасываніи, воздухъ въ трубкѣ разрѣжается и давитъ съ меньшею силою, а потому давленіе на воду внѣ трубки превозмогаетъ и заставляетъ воду подыматься. Давленіе воздуха нагоняетъ его въ мѣхъ, (фиг. 89) когда, раздвинувъ стѣнки мѣха мы увеличиваемъ его внутреннюю полость и разрѣжаемъ чрезъ то находящійся тамъ воздухъ. Давленіе внѣшняго воздуха превозмогаетъ, и онъ входитъ чрезъ отверстія *C* и особенно *D*, приподнимая клапанъ. (Еслибы не было этого боковаго отверстія, то весь входящій воздухъ проходилъ бы чрезъ отверстіе трубки и приносилъ бы съ собою въ мѣхи пепелъ очага.) Въ случаѣ насоса поднимающійся поршень оставляетъ подъ собою разрѣженное пространство, въ которое и поднимается вода гонимая внѣшнимъ давленіемъ. Вода не выливается изъ опрокинутой бутылки (фиг. 100), ибо удерживается (какъ ртуть въ опытѣ Торричелли) давленіемъ воздуха на свободную плоскость жидкости въ сосудѣ, тогда какъ вода внутри бутылки ограждена отъ давленія стѣнками бутылки.

§ 73. Опыты Паскаля: опытъ съ двойною трубкой. Опытъ Торричелли, произведенный въ Римѣ, скоро сдѣлался извѣстнымъ и внѣ Италіи и былъ повторяемъ во многихъ мѣстахъ. Но ученіе о давленіи воздуха не тотчасъ было принято учеными. Принятію этой простой идеи,—естественно вытекающей изъ размышленій о томъ что воздухъ есть тѣло имѣющее вѣсъ и долженствующее давить внизъ,—препятствовало, кромѣ приверженности къ утвердившемуся ученію, незнаніе законовъ распространенія давленія въ жидкихъ тѣлахъ и ложное и неясное представленіе, будто жидкость внутри своей массы не оказываетъ давленія: вода будто бы не давитъ въ водѣ, воздухъ въ воздухѣ. Многіе ученые полагали что опытъ Торричелли не есть прямое доказательство давленія воздуха и можетъ быть объясненъ изъ ученія о боязни пустоты. Но Паскалемъ были произведены два опыта, которые уже нельзя объяснить изъ этого ученія и которыя представляютъ прямое доказательство давленія воздуха. Первый опытъ основывается на слѣдующей мысли. Если ртуть держится въ барометрической трубкѣ давленіемъ внѣшняго воздуха, то, очевидно, она должна опуститься, если мы удалимъ этотъ воздухъ. Воздушный насосъ тогда еще не былъ извѣстенъ и потому Паскаль не могъ осуществить опытъ въ прямой формѣ. Чтобы удалить воздухъ нагоняющій ртуть въ барометрическую трубку, онъ долженъ былъ прибѣгнуть къ особому пріему, остроумно придуманному. Онъ бралъ трубку двойной барометрической длины загнутую какъ изображено на фиг. 103. Держа ее закрытымъ концемъ A внизъ, наполнялъ всю ртутью и опрокидывалъ надъ чашкою

Фиг. 103.

M какъ въ обыкновенномъ барометрическомъ опытѣ. Въ колѣнѣ KM ртуть останавливалась на нѣкоторой высотѣ cM какъ въ обыкновенномъ барометрѣ. Но въ трубкѣ $AabK$ ртуть въ обоихъ колѣнахъ останавливалась на одной высотѣ, очевидно потому что надъ нею какъ при a такъ и при b была пустота, ибо воздухъ не могъ проникнуть въ пространство bKc. Открывъ отверстіе находившееся при точкѣ K и во время производства опыта заткнутое пальцемъ или инымъ какимъ способомъ, напримѣръ затянутое пузыремъ, впускали воздухъ, и тотчасъ ртуть въ колѣны cM падала, а въ колѣнѣ aA подымалась до барометрической высоты надъ опустившимся уровнемъ при b.

Въ настоящее время опытъ съ измѣненіемъ давленія при удаленіи воздуха удобно производится, помощію воздушнаго насоса, въ слѣдующей формѣ (фиг. 104). Чрезъ металлическую крышку стекляннаго колпака A проходитъ трубка сифоннаго барометра B и другая трубка C, дважды загнутая и оканчивающаяся при b болѣе толстою частью открытою наружу. Ртуть, налитая при b, отдѣляетъ внѣшній воздухъ отъ воздуха заключающагося подъ колоколомъ насоса. По мѣрѣ выкачиванія воздуха, ртуть опускается въ барометрѣ B, такъ какъ давленіе при a становится менѣе и менѣе; напротивъ того въ трубкѣ b ртуть поднимается, такъ какъ упругость внутренняго воздуха, по мѣрѣ его разрѣженія, не въ состояніи уравновѣшивать давленіе внѣшняго.



Фиг. 104.

§ 74. Опытъ съ восхожденіемъ на гору. „Подобно тому,

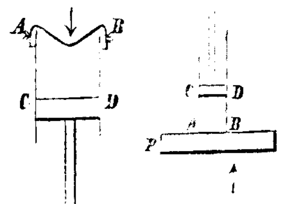
говоритъ Паскаль, какъ вода сильнѣе давитъ своимъ вѣсомъ на дно ведра, когда это ведро все наполнено чѣмъ когда оно налито до половины и вообще тѣмъ сильнѣе чѣмъ больше высота воды,—воздухъ оказываетъ болѣе давленія въ глубокихъ мѣстахъ, каковы долины, чѣмъ на высотѣ горъ, такъ какъ больше воздуха надъ долиною чѣмъ надъ вершиною горы, ибо весь воздухъ соотвѣтствующій склону горы давитъ на долину и не давитъ на вершину, находясь выше первой, но ниже второй". Чтобы оправдать эту мысль Паскаль предложитъ сравнить одновременно высоту ртутнаго столба въ трубкѣ Торричелли при подошвѣ и на вершинѣ какой-нибудь горы. Если окажется, говорилъ онъ, что „ртуть на горѣ стоитъ ниже, то очевидно причина явленія заключается въ давленіи, происходящемъ отъ тяжести воздуха, ибо ясно что при подошвѣ горы давящій внизъ столбъ воздуха болѣе чѣмъ на вершинѣ, но нельзя сказать что природа болѣе боится пустоты при подошвѣ горы чѣмъ на ея вершинѣ." Опытъ произведенный по указанію Паскаля однимъ изъ его родственниковъ на горѣ Пюи-де-Домъ (въ провинціи Овернь) вполнѣ оправдалъ ожиданія Паскаля. Высота ртутной колонны барометра оказалась при подошвѣ горы выше чѣмъ на горѣ. Этотъ опытъ, не только доказывающій давленіе воздуха, но и объясняющій происхожденіе этого давленія отъ вѣса лежащихъ одинъ на другомъ воздушныхъ слоевъ, Паскаль разсматривалъ какъ *рѣшительный опытъ* (experimentum crucis по терминологіи Бекона *) и именовалъ великимъ опытомъ равновѣсія жидкостей (grande expérience de l'équilibre des liqueurs).

*) Беконъ Веруламскій славный англійскій философъ начала XVII вѣка (умеръ 1626 года) основатель индуктивнаго метода.

Въ послѣдствіи Соссюръ *) нашелъ что на Монъ-Бланѣ высота барометра не болѣе 530 миллиметровъ; Гей-Люссакъ **) во время своего воздушнаго путешествія достигъ высоты, на которой барометръ показывалъ только 320 миллиметровъ (тогда какъ нормальная высота при поверхности земли простирается до 760 милл.).

Уменьшеніемъ барометрической высоты по мѣрѣ повышенія въ атмосферѣ пользуются для опредѣленія высоты горъ и разстоянія отъ земной поверхности въ воздушныхъ путешествіяхъ.

§ 75. Давленіе воздуха подчинено общимъ законамъ давленія жидкихъ тѣлъ. Согласно закону распространенія давленія нижній слой воздуха, сжатый вѣсомъ выше-лежащихъ слоевъ, давитъ въ свою очередь на омываемыя имъ тѣла *со всѣхъ сторонъ*. Какъ бы мы ни помѣстили мѣхи въ воздухѣ, послѣдній одинаково проникаетъ въ ихъ внутренность, когда мы ихъ раздвигаемъ. Грузъ P (фиг. 106) атмосфернымъ давленіемъ *снизу* поднимается вверхъ когда наблюдатель взявшись за него рукою выдвинетъ поршень CD доходившій прежде до дна и выпуститъ грузъ изъ рукъ. Въ случаѣ цилиндра (фиг. 105), дно котораго AB замкнуто перепонкой изъ каучука или пузыря, перепонка эта, когда удаляемъ поршень прежде плотно ея касавшійся, вдавливается одинаково какъ бы цилиндръ помѣщенъ ни былъ.



Фиг. 105. Фиг. 106.

*) Знаменитый швейцарскій геологъ и метеорологъ, авторъ *Путешествія по Альпамъ*, родился въ Женевѣ въ 1740 г., умеръ 1799 года.

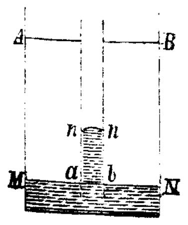
**) Французскій ученый начала нынѣшняго столѣтія оказавшій важныя заслуги въ области физики и химіи. Родился 1778 г., умеръ въ 1850.

Но почему же, несмотря на давленіе воздуха снизу, вода выливается изъ опрокинутой бутылки и вообще изъ наполненнаго сосуда обращеннаго отверстіемъ внизъ? Это происходитъ оттого что жидкость въ подобныхъ случаяхъ находится въ состояніи равновѣсія *неустойчиваго*.

Фиг. 107.

Если наполнить до верху стаканъ водою и положить на ея поверхность листъ бумаги, то можно съ осторожностію опрокинуть стаканъ отверстіемъ внизъ (фиг. 107), и вода не выльется. Она будетъ удерживаться атмосфернымъ давленіемъ, дѣйствующимъ снизу. Листъ мѣшаетъ измѣненію поверхности воды. Еслибъ его не было, то несмотря на давленіе воздуха снизу, равновѣсіе не могло бы сохраниться, ибо при малѣйшемъ измѣненіи поверхности давленіе въ разныхъ ея точкахъ сдѣлается не одинакимъ; однѣ части будутъ опускаться, другія подыматься *), и скоро весь стаканъ опорожнится. Еслибы, вмѣсто стакана, мы взяли сосудъ съ узкимъ отверстіемъ (напримѣръ трубку, запаянную съ одного конца и оканчивающуюся съ другаго капиллярнымъ отверстіемъ), то такой сосудъ, когда онъ наполненъ водою, можно, какъ показываетъ опытъ, опрокинуть отверстіемъ внизъ, не закрывая ничѣмъ, и вода не выльется.

Чтобъ указать что давленіе воздуха происходитъ по тѣмъ же законамъ какъ давленіе жидкостей, Паскаль сдѣлалъ рядъ опытовъ, въ которыхъ, помощію давленія воды, воспроизвелъ явленія сходныя съ тѣми какія производитъ давленіе воздуха. Такъ, опытъ соотвѣтствующій опыту Торричелли онъ произвелъ въ слѣдующей формѣ. Открытая сверху трубка (фиг. 108) погружена нижнимъ концемъ во ртуть налитую на дно сосуда долитаго водою до уровня AB. Ртуть въ трубкѣ будетъ стоять выше чѣмъ въ сосудѣ вслѣдствіе давленія массы воды $AMNB$. Колонна $abnn$ ртути соотвѣтствуетъ барометрической колоннѣ. Вода наполняющая сосудъ до AB соотвѣтствуетъ воздуху.



Фиг. 108.

То обстоятельство что трубка барометрическая сверху закрыта, а трубка въ опытѣ открыта (для того чтобы

*) См. ниже § 79.

воздухъ одинаково давилъ внутри и внѣ ея и слѣд. своимъ присутствіемъ ни въ чемъ не измѣнялъ явленія) не мѣшаетъ точности аналогіи, ибо еслибы барометрическая трубка была столь длинна что ея верхній конецъ выходилъ бы за предѣлъ атмосферы, то тогда не было бы надобности чтобъ онъ былъ закрытъ. Онъ закрывается дабы предотвратить доступъ воздуха внутрь трубки. Еслибы въ опытѣ (фиг. 108) мы сдѣлали въ стѣнкѣ трубки отверстіе, чрезъ которое она наполнилась бы водою, ртуть тотчасъ бы опустилась. Такимъ образомъ атмосферу и барометрическую трубку мы можемъ разсматривать какъ два сообщающіеся сосуда наполненные жидкостями разной плотности. Подобно тому какъ форма сообщающихся сосудовъ не имѣетъ вліянія на равновѣсіе заключающейся въ нихъ жидкости, видъ и форма барометрической трубки не имѣютъ вліянія на высоту ртутной колонны (эта высота есть вертикальное разстояніе уровня ртути въ трубкѣ отъ уровня въ чашкѣ) *).

Такъ какъ въ сообщающихся трубкахъ высоты жидкостей обратно пропорціональны плотностямъ, то очевидно что если столбъ ртути уравновѣшивающей атмосферное давленіе имѣетъ высоту 760 миллиметровъ, то столбъ воды долженъ имѣть высоту въ 13,5 разъ большую, то-есть 10,33 метра. Столбъ масла, котораго плотность 0,92, долженъ имѣть высоту 11,23 метра и т. д.

§ 76. Величина атмосфернаго давленія.—Среднимъ числомъ высота ртути въ барометрѣ равняется 760 миллим. Слѣд., на каждую единицу поверхности тѣла воздухъ давитъ какъ столбъ ртути, имѣющій основаніемъ единицу поверхности, а высотою 760 милл. или 76 центиметровъ. Объемъ столба ртути,

*) Разница между состояніемъ слоя воды несущимъ вѣсъ вышележащихъ слоевъ и слоемъ воздуха сжатымъ выше-лежащими слоями въ томъ что плотность воды очень мало измѣняется отъ давленія, и еслибы глубина моря уменьшилась, напр., на половину, слой воды находящійся на днѣ увеличился бы въ объемѣ на самую незначительную величину; напротивъ того, еслибъ уменьшился давящій воздушный столбъ, плотность окружающаго насъ воздуха уменьшилась бы значительно, и онъ бы значительно расширился.

въ квадратный центиметръ основанія и 76 центим. высоты составляетъ 76 кубич. центим. Еслибъ этотъ столбъ былъ изъ воды, онъ вѣсилъ бы 76 граммовъ. Ртуть въ 13,598 разъ тяжелѣе воды, слѣдов. ртутный столбъ вѣситъ $76 \times 13.6 = 10336$ граммовъ или 1,0336 килограмм. Такимъ образомъ воздухъ давитъ на каждый квадр. центиметръ съ силою равною 1,0336 килогр., давленіе на квадратный дециметръ будетъ 103,36 килогр., на квадр. метръ 10336 килогр. Давленіе на квадр. дюймъ равняется 6,6 килогр. или 16,1 фунтамъ.

Поверхность человѣческаго тѣла можно приблизительно считать равною $1^{1}/_{2}$ квадр. метра. Слѣдов. полная величина давленія атмосферы на поверхность нашего тѣла составляетъ болѣе 15000 килогр. (болѣе 900 пудовъ).

Еслибы воздухъ какъ въ нижнихъ, такъ и въ верхнихъ слояхъ своихъ имѣлъ одинаковую плотность, то было бы легко, основываясь на законѣ равновѣсія разнородныхъ жидкостей, опредѣлить высоту атмосферы. Въ такомъ случаѣ высота AB столба воздуха (фиг. 108) была бы во столько разъ болѣе высоты na столба ртути, во сколько плотность ртути болѣе плотности воздуха, окружающаго барометръ. Слѣд., назвавъ высоту атмосферы x, плотность воздуха d (величина d =0,0012991), будемъ имѣть, выразивъ высоту ртутнаго столба въ метрахъ (0,76 метр.):

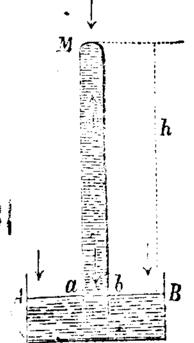
$$x : 0{,}76 = 13{,}6 : d$$

откуда $x = 7955$ метрамъ (около $7^{1}/_{2}$ верстъ).

Но понятно что это разсужденіе основано на ложномъ допущеніи что плотность воздуха въ верхнихъ слояхъ такая же какъ при поверхности земли. Плотность воздуха зависитъ отъ давленія, подъ какимъ онъ находится и уменьшается по мѣрѣ высоты надъ поверхностію земли. Потому высота атмосферы гораздо значительнѣе приведеннаго числа. Ее считаютъ равною отъ 60 до 80 тысячъ метровъ.

§ 77. **Почему мы не чувствуемъ давленія атмосферы.** Величина давленія воздуха на всю поверхность нашего тѣла превышаетъ 900 пудовъ. Какимъ же образомъ выдерживаемъ мы это давленіе не замѣчая его? Давленіе это, очевидно, нельзя сравнивать ни съ грузомъ положеннымъ на плеча, который давитъ лишь въ опредѣленномъ направленіи, ни даже съ давленіемъ хотя бы и со всѣхъ сторонъ, на оболочку внутри пустую. Внутри нашего тѣла находятся жидкости и воздухъ, которые своею упругостію уравновѣшиваютъ давленіе внѣшняго воздуха. Наши кости, ткани, вообще твердыя части организма должно сравнивать съ тѣлами погруженными въ жидкость находящуюся подъ опредѣленнымъ давленіемъ. А изъ § 62 мы уже знаемъ что тѣло находящееся внутри жидкости и слѣд. претерпѣвающее одновременно *со всѣхъ сторонъ* ея давленіе, не измѣняетъ ни своего вида, ни своей гибкости какъ бы тонко и нѣжно оно ни было. Рыбы живущія на значительной глубинѣ, муха въ опытѣ Паскаля безъ затрудненія переносятъ огромныя давленія, не теряя живости и легкости движеній.

§ 78. **Разборъ случая опрокинутой трубки, которой высота менѣе барометрической.** Если трубка которую наполняемъ ртутью и опрокидываемъ въ чашку короче чѣмъ столбъ ртути способный уравновѣсить давленіе атмосферы, то трубка, какъ знаемъ, останется вся наполненною ртутью. На ртуть въ чашкѣ (фиг. 109) давитъ воздухъ съ силою столба ртути высотою около 760 миллим. Назовемъ эту высоту H. Колонна ртути внутри трубки имѣетъ высоту h меньшую чѣмъ H и не можетъ вполнѣ уравновѣсить давленіе атмосферы. Потому ртуть внутри трубки прижата къ ея вершинѣ съ силою столба ртути, котораго высота $H-h$. Такимъ образомъ давленіе атмосферы уравновѣшивается давленіемъ столба ртути h и противодѣйствіемъ верхней стѣнки трубки. Если бы жидкость наполняющая трубку была вода, то давленіе снизу на верхнюю стѣнку трубки выразилось бы столбомъ воды $10{,}3-h$ метр. высотою, такъ какъ столбъ воды уравновѣшивающій атмосферное давленіе имѣетъ высоту около 10,3 метровъ.



Фиг. 109.

§ 79. **Теорія сифона.** Загнутая двухколѣнная трубка

называется вообще *сифономъ.* Если такую трубку наполнить жидкостью и опрокинуть короткимъ концомъ въ одинъ сосудъ, а длиннымъ въ другой, какъ показано на фиг. 110 (предполагаемъ что оба сосуда наполнены тою же жидкостью, какъ и трубка), то жидкость изъ перваго сосуда будетъ перетекать во второй.

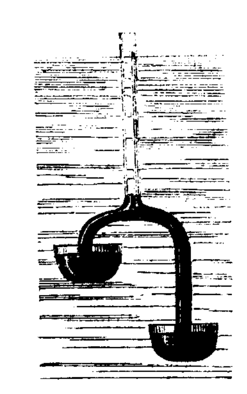
Свойство сифона было извѣстно съ давнихъ временъ и еще Геронъ описалъ многіе снаряды, гдѣ сифонъ играетъ главную роль. Онъ выражалъ даже, „какъ вещь неподлежащую (говоритъ Паскаль) сомнѣнію, что можно воду изъ рѣки заставить перелиться черезъ гору въ находящуюся по другую сторону долину, если только она лежитъ хотя немного глубже, помощію сифона, помѣщеннаго на вершинѣ и котораго вѣтви спускаются по скатамъ одинъ въ рѣку, другой въ долину. Геронъ увѣряетъ что вода поднимется изъ рѣки на гору, чтобы спуститься затѣмъ въ долину, какова бы ни была высота горы". И эта ошибка повторялась многими писателями до той эпохи, когда было узнано, что дѣйствіемъ атмосфернаго давленія нельзя поднять воду выше 10 метровъ, ртуть выше 76 центиметровъ.

Дѣйствіе сифона объясняется изъ предыдущаго параграфа. Обратимъ вниманіе на сѣченіе *cd* раздѣляющее сифонъ на два колѣна. Давленіе испытываемое этимъ сѣченіемъ слѣва вправо равняется $H - h$, гдѣ H давленіе атмосферы, выраженное высотою столба перетекающей жидкости, h вертикальная высота жидкости въ короткомъ колѣнѣ или длина *mn*. Давленіе на то же сѣченіе справа влѣво есть $H-h'$, гдѣ h' высота жидкости въ длинномъ колѣнѣ или *pq*. Такъ какъ h' болѣе нежели h, то $H-h$ болѣе нежели $H-h'$. Давленіе слѣва вправо слѣдовательно болѣе чѣмъ справа влѣво, и жидкость должна перетекать изъ короткаго колѣна въ длинное и переливаться изъ верхняго сосуда въ нижній. Еслибы

Фиг. 110.

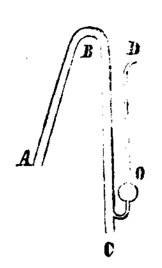
высота h была равна или болѣе H, то дѣйствіе сифона было бы не возможно, такъ какъ атмосферное давленіе не можетъ поднять данную жидкость болѣе чѣмъ на высоту H. Мы имѣли бы два соединенные барометра, въ которыхъ жидкость оставалась бы на высотѣ H, образуя вверху сифона пустоту.

Чтобы пояснить теорію сифона, Паскаль описываетъ опытъ, въ которомъ давленіемъ воды можно произвести дѣйствіе подобное тому какое производитъ въ случаѣ сифона атмосферное давленіе. Двухколѣнная трубка (фиг. 111) снабжена каналомъ отверстіе котораго находится выше уровня воды; будучи погружена въ водѣ, она можетъ служить для переливанія ртути изъ сосуда выше лежащаго въ другой лежащій ниже Еслибы не было воды ртуть не переливалась бы, и упала частію въ одинъ сосудъ частію въ другой такъ какъ воздухъ чрезъ открытый каналъ имѣетъ доступъ въ сифонъ. „Вѣсъ воды, очевидно, есть причина переливанія, такъ какъ онъ давитъ на ртуть въ сосудахъ, но не давитъ на ту которая въ сифонѣ... Если сдѣлать отверстіе въ сифонѣ, такъ чтобы вода могла въ него проникнуть, то переливаніе прекратится, ибо вода будетъ давить какъ внутри такъ и внѣ сифона".



Фиг. 111.

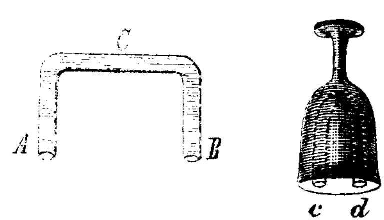
Чтобъ удобно было наполнить сифонъ жидкостію, ему даютъ обыкновенно форму, изображенную на фиг. 112. Чрезъ трубку *CD*, закрывъ отверстіе *C* пальцемъ, всасываютъ жидкость, которая такимъ образомъ наполняетъ сифонъ. Чтобы жидкость не попала въ ротъ дѣлающаго опытъ, трубка *CD* имѣетъ расширеніе *O*.



Фиг. 112.

Такъ какъ въ равноколѣнномъ сифонѣ *ACB* наполненномъ жидкостью и помѣщенномъ какъ изображено на фиг. 113 обѣ половины *AC* и *CB* одинаковы, то нѣтъ причины чтобы жидкость выливалась въ ту или другую сторону. Но равновѣсіе въ этомъ случаѣ будеты неустойчиво, ибо при самой незначитель-

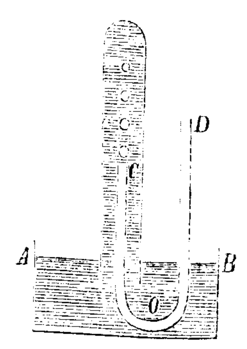
ной разницѣ высота жидкости при концахъ A и B тотчасъ начнется истеченіе въ сторону болѣе длинной колонны. Этотъ



Фиг. 113. Фиг. 114.

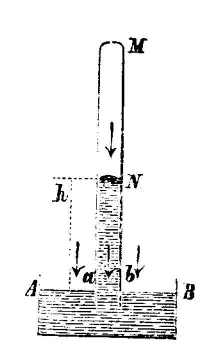
опытъ разъясняетъ почему вода выливается изъ открытаго опрокинутаго сосуда (фиг. 114) несмотря на атмосферное давленіе снизу. Если, напримѣръ, при c вода хотя нѣсколько ниже чѣмъ при d, то мы можемъ эти мѣста разсматривать какъ концы воображаемаго сифона, въ которомъ жидкость не можетъ остаться въ равновѣси.

§ 80. Сифонъ переливающій воздухъ. Введемъ въ трубку, наполненную жидкостію и погруженную отверстіемъ (фиг. 115) въ сосудъ съ такою же жидкостію, колѣно OC сифона, такъ чтобы во время этого введенія жидкость не вошла въ сифонъ (для этого отверстіе D должно закрыть пальцемъ) и притомъ такъ чтобы конецъ C былъ выше уровня жидкости AB. Открывъ отверстіе D, замѣтимъ, что пузырьки воздуха будутъ входить чрезъ отверстіе C и воздухъ быстро наполнитъ трубку. Это явленіе объясняется разностью давленій снизу вверхъ и сверху внизъ при отверстіи C. Такъ какъ сифонъ открытъ и наполненъ воздухомъ, то снизу вверхъ при C давитъ атмосфера; давленіе сверху внизъ равняется атмосферному давленію, уменьшенному вѣсомъ столба жидкости, котораго высота есть разстояніе C отъ уровня жидкости AB. Первое давленіе болѣе втораго, и потому воздухъ входитъ въ трубку.



Фиг. 115.

§ 81. Разборъ случая когда въ опрокинутой трубкѣ надъ ртутью находится воздухъ. Если мы, производя опытъ Торричелли, наполнимъ ртутью не всю трубку, но оставимъ въ ней часть воздуха, то, опрокинувъ ее по извѣстному способу въ чашку со ртутью, замѣтимъ что воздухъ поднимется къ верху и займетъ нѣкоторое пространство NM (фиг. 116) надъ ртутью. Давленіе атмосферы H уравновѣшивается совокупностію давленій столба ртути h и воздуха наполняющаго верхнюю часть трубки. Заключаемъ что воздухъ содержащійся вверху трубки давитъ на поверхность N ртути, такъ какъ бы давилъ столбъ $H—h$ ртути. Высота $H—h$ можетъ слѣд. служить мѣрою упругости этого воздуха. Другими словами это выражается такъ: воздухъ внутри трубки находится *подъ давленіемъ столба ртути* $H—h$. Еслибы воздухъ внутри трубки стоялъ на такой же высотѣ какъ въ чашкѣ, такъ что h было бы равно нулю, то мы сказали бы что онъ находится подъ давленіемъ *цѣлой атмосферы*



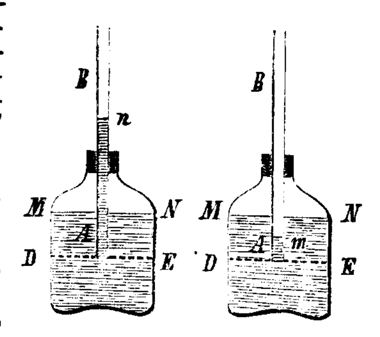
Фиг. 116.

Еслибы вмѣсто воздуха въ трубкѣ былъ какой-нибудь другой газъ, то мы разсуждали бы о немъ точно также, какъ о воздухѣ.

Еслибы въ трубкѣ и чашкѣ была не ртуть, а другая какая-нибудь жидкость, то давленіе атмосферы мы должны бы были выразить высотою столба этой жидкости. Тогда газъ былъ бы подъ давленіемъ $H'—h$, гдѣ H' высота колонны жидкости уравновѣшивающая давленіе атмосферы.

§ 82. Случай открытой трубки, опущенной въ закрытый сосудъ. Трубка открытая съ обоихъ концовъ проходитъ чрезъ пробку плотно закрывающую сосудъ. Каналъ трубки и внутренность стклянки суть какъ бы два „сообщающіеся сосуда". На сѣченіе DE проходящее чрезъ отверстіе A, помощію котораго сосуды сообщаются, давятъ внутри канала атмосферный воздухъ и столбъ жидкости находящійся въ трубкѣ; внѣ канала столбъ жидкости, извнѣ окружающій трубку и имѣющій высоту EN, и давленіе внутренняго воздуха стклянки. Такъ какъ жидкость остается въ равновѣсіи, то давленіе на сѣченіе

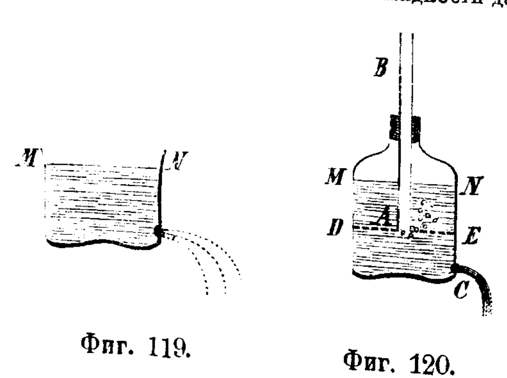
DE одинаково какъ внутри трубки, такъ и внѣ ея. Когда жидкость въ трубкѣ стоитъ выше отверстія A (на фиг. 117 при n, на фиг. 118 при m), то оно болѣе атмосфернаго, ибо къ давленію воздуха присоединяется давленіе столба жидкостя внутри трубки. Еслибы жидкость въ трубкѣ стояла при самомъ отверстіи A, то сѣченіе DE испытывало бы давленіе равное атмосферному.



Фиг. 117. Фиг. 118.

§ 83. **Задачи.** Доказать что воздухъ внутри стклянки *сжатъ* (т.-е. давленіе его болѣе атмосфернаго), когда внутри трубки жидкость стоитъ, какъ на фиг. 117, выше уровня MN; и разрѣженъ, когда, какъ на фиг. 118, она ниже MN. Какъ повысить или понизить уровень жидкости въ трубкѣ AB, чтобы перейти отъ опыта изображеннаго на фиг. 117 къ опыту изображенному на фиг. 118 и наоборотъ?

§ 84. **Маріоттовъ *) сосудъ для постояннаго истеченія жидкостей.** Возьмемъ открытый сосудъ (фиг. 119) и пустимъ жидкость изъ отверстія его C. Скорость истеченія по мѣрѣ пониженія уровня MN будетъ уменьшаться и струя наклоняться ниже и ниже, такъ какъ уменьшается высота столба жидкости давленіемъ



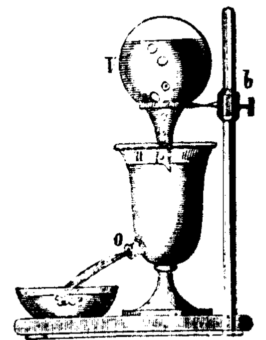
Фиг. 119. Фиг. 120.

*) Аббатъ Маріоттъ французскій физикъ второй половинѣ XVII вѣкв, членъ Парижской Академіи Наукъ, умершій въ 1684 году. Извѣстенъ трудами по гидравликѣ и механикѣ и изслѣдованіемъ закона сжимаемости газовъ,

котораго гонится жидкость изъ сосуда. При этомъ давленіе воздуха не имѣетъ вліянія на истеченіе, такъ какъ при C давленіе атмосферы, передаваемое жидкостью сверху, уравновѣшивается атмосфернымъ давленіемъ непосредственно дѣйствующимъ сбоку. Сосудъ подобный описанному въ предыдущемъ параграфѣ съ отверстіемъ C внизу (фиг. 120) и называемый *Маріоттовымъ* позволяетъ сохранить скорость истеченія постоянною, несмотря на убыль жидкости и пониженіе ея уровня.

Постоянное истеченіе начинается съ того момента, когда жидкость внутри трубки опустится до уровня отверстія A. Въ этотъ моментъ давленіе на сѣченіе DE, какъ намъ извѣстно изъ предыдущаго параграфа, равняется атмосферному и слѣдовательно жидкость вытекаетъ при тѣхъ же условіяхъ, какъ еслибы она была въ *открытомъ сосудѣ на уровнѣ* DE, и истекала подъ давленіемъ столба EC. Эти условія сохраняются во все послѣдующее время пока уровень MN жидкости будетъ выше отверстія A. По мѣрѣ истеченія, давленіе воздуха внутри сосуда стремится уменьшиться, но едва оно уменьшится, какъ давленіе воздуха чрезъ отверстіе A воспреобладаетъ, и воздухъ пузырями подымется вверхъ, возстановляя равновѣсіе давленій.

§ 85. **Другой пріемъ для той же цѣли.** Опрокинемъ закрытый сверху и наполненный жидкостью сосудъ V (фиг. 121) въ стаканъ, наполненный жидкостью такъ чтобъ отверстіе n находилось немного ниже уровня жидкости въ стаканѣ. Жидкость не выливается изъ опрокинутаго сосуда. Откроемъ отверстіе o стакана. Жидкость начинаетъ вытекать, и скоро ея уровень понизится такъ, что отверстіе n сдѣлается не закрытымъ. Пузырьки воздуха подымаются въ верхнюю часть сосуда V, и вытѣсняемая имъ вода поддерживаетъ уровень жидкости въ стаканѣ на одной высотѣ.



Фиг. 121.

Чтобы воздухъ не слишкомъ стремительно входилъ въ опрокинутый сосудъ, отверстіе n обрѣзается вкось или вообще дѣлается съ неровными краями.

§ 86. **Устройство барометра.** Чтобъ опытъ Торричелли могъ служить для точнаго измѣренія давленія атмосферы, должны быть соблюдены многія условія. Снарядъ Торричелли, устроенный съ надлежащими предосторожностями, именуется *барометромъ*.

Первое условіе точности барометра состоитъ въ томъ чтобы въ верхней части его, называемой Торричелліевою пустотой, не было ни воздуха, ни влаги порождающей паръ. Иначе ихъ упругость уменьшила бы высоту ртутнаго столба. Прежде чѣмъ опрокинуть трубку, ртуть осторожно кипятятъ чтобы выгнать остатки воздуха и влажности остающихся между стѣнками трубки и наполняющею ее ртутью. Для этого помѣщаютъ трубку въ наклонномъ положеніи и нагрѣваютъ до кипѣнія, начиная съ запаяннаго конца и поднимаясь постепенно вверхъ. При этомъ ртуть должна кипѣть заразъ только на весьма небольшомъ протяженіи; иначе неправильныя движенія ртутной колонны, поднимаемой выходящимъ паромъ ртути, могутъ легко разбить трубку. Какъ скоро ртуть хорошо выкипѣчена, ея поверхность прикосновенія съ стѣнками принимаетъ блестящій зеркальный видъ, и нигдѣ не замѣтно ни приставшихъ пузырьковъ воздуха, ни осажденнаго пара.

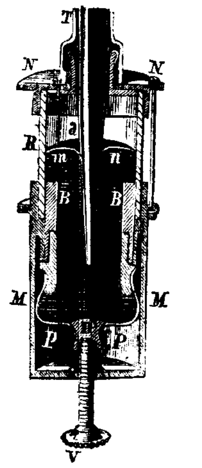
Ртуть самая удобная жидкость для барометра. Ея большая плотность позволяетъ давать барометрической трубкѣ незначительную длину. Еслибы барометръ былъ наполненъ водою, то длина его трубки должна бы превышать 10 метровъ. Ртуть легко имѣть въ чистомъ видѣ. Наконецъ ртуть при обыкновенной температурѣ отдѣляетъ столь незначительное количество пара что его упругость не производитъ замѣтнаго уменьшенія длины ртутной колонны, и если воздухъ и влага тщательно выгнаны изъ барометрической трубки, то пространство надъ ртутью можно считать совершенно пустымъ. Въ случаѣ водянаго барометра пространство вверху его было бы наполнено водянымъ паромъ. Упругость этого пара понижаетъ водяную колонну при обыкновенной комнатной температурѣ дециметра на два ниже той высоты какую она имѣла бы, еслибы вверху трубки была пустота.

Употребительнѣйшія формы барометра суть *барометръ съ чашечкою* и *барометръ сифонный*.

§ 87. **Барометръ съ чашечкою Фортена.** Стеклянная трубка барометра Фортена (знаменитый французскій строитель инструментовъ начала нынѣшняго столѣтія) заключена въ мѣдной цилиндрической трубкѣ (фиг. 123) съ широкими прорѣзами одинъ противъ другаго, чрезъ которые можно наблюдать высоту

ртутной колонны. На краю одного изъ прорѣзовъ назначены дѣленія, помощію которыхъ измѣряется высота ртути надъ ея уровнемъ въ чашечкѣ. Самая чашечка закрыта со всѣхъ сторонъ, впрочемъ такъ что воздухъ легко проникаетъ въ нее и оказываетъ давленіе на ртуть.

Фиг. 122 представляетъ чашечку барометра Фортена. Она состоитъ изъ стекляннаго цилиндра *RR*, соединеннаго съ металлическою оправой *NN*, чрезъ которую проходитъ барометрическая трубка. Деревянный цилиндръ *BB* оканчивается замшевымъ мѣшкомъ *P* и заключенъ въ металлическомъ цилиндрѣ *MM*. Помощію винта *V*, упирающагося въ деревянный кружокъ *D*, присоединенный къ замшевому мѣшку, можно заставить подниматься или опускаться уровень ртути *mn*. Это необходимо, такъ какъ уровень ртути въ чашечкѣ не остается постояннымъ: ртуть входитъ изъ чашечки въ трубку, когда атмосферное давленіе увеличивается и прибываетъ въ чашечкѣ, когда ртутная колонна понижается вслѣдствіе уменьшенія давленія. При началѣ каждаго наблюденія приводятъ поверхность ртути въ прикосновеніе съ кончикомъ *a* маленькаго острія изъ слоновой кости, придѣланнаго къ верхней оправѣ. Отъ этого кончика считается высота ртутной колонны, измѣряемая помощію дѣленій, означенныхъ на цилиндрической оправѣ, облекающей барометрическую трубку.



Фиг. 122. Фиг. 123.

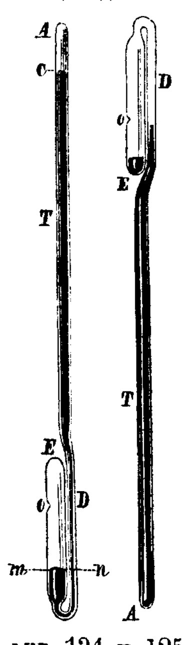
Такъ какъ высота колонны ртути, измѣряющая величину атмосфернаго давленія, считается по вертикальному направленію отъ уровня ртути въ чашечкѣ до уровня въ трубкѣ, и такъ какъ эта высота измѣряется помощію скалы, придѣланной къ трубкѣ, то для правильнаго измѣренія необходимо чтобы трубка стояла вертикально. Для этого барометръ вѣшается такъ чтобъ онъ могъ свободно принять вертикальное положеніе.

Когда надо перевозить барометръ, то предварительно поднимаютъ подвижное дно чашечки до тѣхъ поръ пока ртуть совсѣмъ наполнитъ и чашечку, и трубку.

§ 88. **Сифонный барометръ.** Сифонный барометръ (фиг. 124), состоитъ изъ двухъ трубокъ одинаковаго діаметра, соединен-

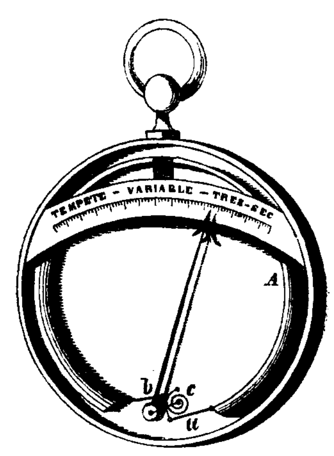
ныхъ между собою помощію трубки D съ капиллярнымъ ка- наломъ. Высоту колонны ртути, уравновѣшивающей давленіе атмосферы, должно считать отъ уровня mn до вершины C ртути въ трубкѣ. Эта высота опредѣляется помощію двухъ скалъ, изъ которыхъ одна находится при C, другая при m. Когда инструментъ должно переносить, его перевертываютъ, какъ показано на фиг. 125. Желая произвести наблюденіе, его снова переворачиваютъ и помѣщаютъ въ прежнее положеніе. Ртуть понижается въ длинномъ колѣнѣ и повышается въ короткомъ, соединяясь съ тою, которая оставалась въ этомъ послѣднемъ. Капиллярная трубка не дозволяетъ воздуху раздѣлить жидкую колонну и проникнуть въ Торричеліеву пустоту.

Отъ теплоты плотность ртути измѣняется, и слѣд. при той же величинѣ атмосфернаго давленія высота ртутнаго столба будетъ различная, смотря по степени теплоты ртути наполняющей барометръ. При помощи вычисленія, о которомъ будемъ говорить ниже, барометрическую высоту приводятъ къ той, какую показывалъ бы барометръ еслибы наполняющая его ртуть была при температурѣ 0°.



Фиг. 124 и 125.

§ 89. Металлическій барометръ.—Опытъ показалъ что согнутая металлическая трубка съ весьма тонкими стѣнками которой концы запаяны и изъ которой предварительно вытянутъ воздухъ представляетъ инструментъ весьма чувствительный къ измѣненіямъ атмосфернаго давленія. Какъ скоро давленіе окружающаго воздуха увеличивается, концы такой пустой трубки A, укрѣпленной въ своей срединѣ (фиг. 126), сближаются между собою. Когда давленіе уменьшается, они удаляются одинъ отъ другаго. Стрѣлка соединена съ концами трубки помощію особаго механизма. Эта стрѣлка отклоняется вправо какъ скоро концы трубки сближаются между собою, и влѣво, какъ скоро они удаляются



Фиг. 126.

между собою. Раздѣленіе скалы металлическаго барометра (называемаго также анероидомъ) дѣлается чрезъ сравненіе его показаній съ показаніями ртутнаго барометра. На дугѣ по которой движется стрѣлка, отмѣчаютъ положенія, какія занимаетъ стрѣлка соотвѣтственно различнымъ высотамъ ртутнаго столба.

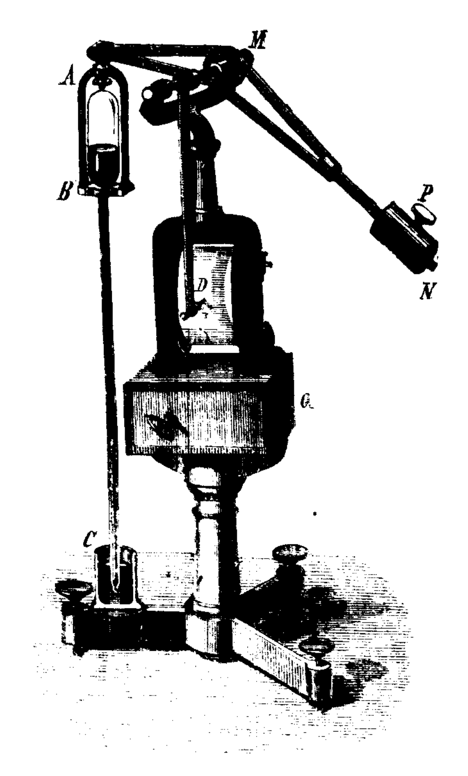
Металлическій барометръ чувствителенъ, удобенъ для переноски, но онъ не имѣетъ такой точности какъ ртутный, ибо тонкій механизмъ его и упругость самой трубки измѣняются съ теченіемъ времени.

§ 90. Вѣсовой барометръ; барометрографъ. Поставимъ на столѣ сосудъ со ртутью, въ которую погрузимъ открытый конецъ трубки Торричелли, но вмѣсто того чтобы держать трубку въ рукѣ, привѣсимъ ее къ чашкѣ вѣсовъ и приведемъ вѣсы въ равновѣсіе, положивъ достаточный грузъ на другую чашку. Мы найдемъ что этотъ грузъ будетъ равняться вѣсу стеклянной трубки и всего количества ртути въ ней заключающагося. Колонна ртути поддерживается атмосфернымъ давленіемъ и не обременяетъ своимъ вѣсомъ сосуда. Точнѣе сказать: давленіе ртутнаго столба внизъ только замѣняетъ собою давленіе, какое оказалъ бы воздухъ еслибы поверхность ртути въ сосудѣ была свободна въ томъ мѣстѣ гдѣ погружена трубка. Этотъ опытъ былъ уже извѣстенъ Паскалю, который говоритъ: „Трубка съ колонною ртути, если свѣсить ее, не вынимая отверстія изъ ртути и сохранять ея положеніе, вѣситъ столько, сколько вѣситъ вещество трубки вмѣстѣ со столбомъ ртути, въ ней заключающимся. При этомъ простран- ство надъ ртутью можетъ быть велико или мало по произволу.“ (*Nouvelles expériences touchant le vide, VI expér.*)

Такимъ образомъ для опредѣленія величины атмосфернаго давленія и его измѣненій можно, вмѣсто того чтобы измѣрять высоту ртутной колонны барометра, прямо взвѣшивать барометрическую трубку, привѣсивъ ее верхнимъ концомъ къ чашкѣ вѣсовъ, тогда какъ открытый ея конецъ погруженъ въ сосудъ со ртутью, помѣщенный на отдѣльной подставкѣ.

Такой барометръ въ первый разъ былъ устроенъ англійскимъ любителемъ физики, кавалеромъ Морландомъ въ началѣ прошлаго столѣтія. Въ послѣднее время подобные инструменты входятъ въ употребленіе, такъ какъ они удобно могутъ быть сдѣланы съ *самопишущимъ* механизмомъ. Фиг. 127 изображаетъ такой *барометрографъ* по устройству римскаго астронома, отца Секки. Чугунная барометрическая трубка въ верхней части оканчивается расширеннымъ резервуаромъ AB, и виситъ на рычагѣ AMN, подвижномъ около оси M и несущимъ на концѣ грузъ P. Длинная игла прикрѣпленная къ рычагу имѣетъ на концѣ карандашъ s пишущій на движущемся листѣ бумаги ея качанія. Бумагѣ дается вертикальное равномѣрное движеніе помощію часоваго механизма, заключаю-

щагося въ ящикѣ Q. Качанія стрѣлки очевидно связаны съ измѣненіями атмосфернаго давленія. Увеличивается давленіе,



Фиг. 127.

вѣсъ барометра становится больше, трубка опускается приподнимая противовѣсъ P, стрѣлка отклоняется влѣво. Давленіе уменьшается, барометръ становится легче, стрѣлка подвигается вправо. По движущейся бумагѣ изображается зигзагообразная линія.

§ 91. Гдѣ надо наблюдать барометръ? Барометръ показываетъ собственно давленіе или упругость того слоя воздуха въ которомъ онъ находится; но такъ какъ давленіе это происходитъ оттого что верхніе слои воздуха давятъ на нижніе, то можно сказать

что барометръ измѣряетъ *вѣсъ* воздушнаго столба, давящаго на ртуть.

Представимъ себѣ что мы отдѣлили слой воздуха, въ которомъ находится барометръ, отъ окружающаго воздуха, заключили, напримѣръ, барометръ внутри сферической оболочки, замкнутой со всѣхъ сторонъ. Колонна ртути сохранитъ ту высоту, какую она имѣла въ моментъ, когда мы заключили барометръ въ оболочку. Воздухъ останется въ сжатомъ состояніи ибо стѣнки оболочки не позволятъ ему расширяться и своимъ сопротивленіемъ замѣнятъ давленіе окружающаго воздуха. Куда бы мы ни перенесли такую замкнутую оболочку съ заключеннымъ въ ней барометромъ, высота ртути осталась бы неизмѣнною (предполагая что температура не измѣнилась). Но, если мы откроемъ сообщеніе между пространствомъ, гдѣ помѣщенъ барометръ, и окружающею средою, то высота столба ртути останется безъ перемѣны только въ томъ случаѣ, когда давленіе наружнаго воздуха будетъ въ равновѣсіи съ упругостію внутренняго, когда слѣдов. оно будетъ равно тому, какое было въ моментъ заключенія барометра въ облекающую его сферу. Если внѣшнее давленіе будетъ менѣе, то упругость внутренняго воздуха преодолѣетъ его, и внутренній воздухъ будетъ выходить изъ оболочки до тѣхъ поръ, пока установится равновѣсіе. Колонна ртути понизится. Если наоборотъ давленіе наружнаго воздуха будетъ болѣе упругости внутренняго, то новое количество воздуха проникнетъ въ сферу, и колонна ртути подымется.

Изъ этого разсужденія ясно что, будетъ ли барометръ прямо помѣщенъ на открытомъ воздухѣ или заключенъ внутри оболочки *имѣющей сообщеніе съ окружающимъ воздухомъ* — высота ртутнаго столба будетъ одинакова. Потому для опредѣленія давленія атмосферы, нѣтъ надобности производить

опыты на открытомъ воздухѣ; барометръ въ комнатѣ стоитъ на такой же высотѣ какъ и на дворѣ, ибо комната черезъ двери, окна и проч. всегда находится въ сообщенiи съ окружающимъ воздухомъ.

§ 92. Измѣненiя высоты барометра. Уже первые наблюдатели барометра замѣтили, что высота ртутной колонны не остается постоянною и что есть связь между повышенiемъ или пониженiемъ ртути въ барометрѣ и измѣненiями погоды. Барометръ сдѣлался однимъ изъ употребительнѣйшихъ снарядовъ. До сихъ поръ, по старому преданiю, на обыкновенныхъ продажныхъ барометрахъ различныя высоты ртути отмѣчаются названiями: ясно, перемѣнно, дождь; хотя во многихъ случаяхъ состоянiе погоды вовсе не соотвѣтствуетъ такому истолкованiю показанiй барометра.

Въ тропическихъ странахъ высота барометра въ теченiе сутокъ измѣняется съ большою правильностiю. Два раза въ сутки (въ десять часовъ утра и въ десять часовъ вечера) барометръ достигаетъ наибольшей высоты и два раза (въ четыре часа утра и въ четыре часа вечера) наименьшей. Въ нашихъ широтахъ повышенiя и пониженiя барометра подвержены множеству случайностей и находятся въ ближайшей связи съ общею измѣнчивостiю погоды подъ средними широтами. Общее состоянiе погоды опредѣляется главнымъ образомъ господствующимъ вѣтромъ. Мы находимся попеременно на днѣ двухъ главныхъ воздушныхъ потоковъ: экваторiальнаго, или юго-западнаго, и полярнаго, или сѣверо-восточнаго. Потокъ полярный приноситъ воздухъ холодный, слѣд. болѣе плотный, и сопровождается *повышенiемъ* барометра. Экваторiальный потокъ приноситъ теплый и влажный воздухъ; барометръ *падаетъ*. Борьба и смѣна этихъ потоковъ служатъ главною причиною *случайныхъ* повышенiй и пониженiй барометра въ нашихъ странахъ.

§ 93. Изобрѣтенiе воздушнаго насоса.—Опытъ Торричелли показываетъ что можно образовать въ трубкѣ безвоздушное пространство. Воспользовавшись трубкою Торричелли, флорентинскiе академики произвели различные опыты въ безвоздушномъ пространствѣ. Чтобъ увеличить вмѣстимость верхней части трубки, гдѣ находится пустота, они припаивали къ трубкѣ стеклянный шаръ который могъ открываться сверху и въ который можно было помѣщать тѣла, назначенныя для опытовъ.

Около 1650 года Отто фонъ-Герике, бургомистръ

города Магдебурга, изобрѣлъ особый снарядъ для образованiя безвоздушнаго пространства, носящiй названiе *воздушнаго насоса.*

§ 94. Первые опыты Отто фонъ Герике.—„Винная бочка, говоритъ Герике въ своемъ сочиненiи *Experimenta nova magdeburgica de vacuo spatio*, наполнялась водой и тщательно задѣлывалась чтобы воздухъ не проходилъ. Внизу (фиг. 128) приставлялся мѣдный на-

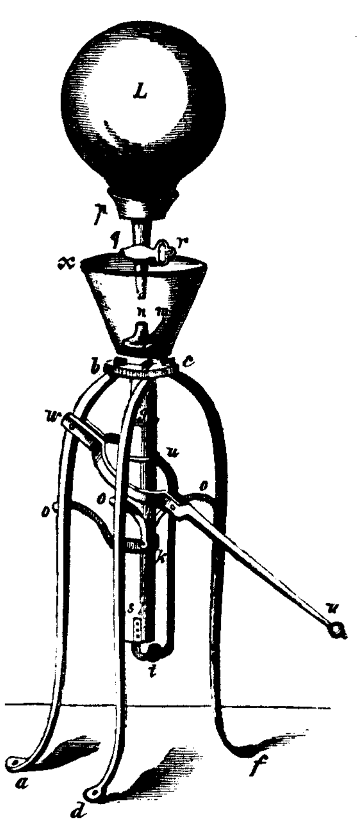
Фиг. 128.

сосъ и помощiю его выкачивалась вода, которая по натуральной тяжести должна опускаться, оставляя по себѣ пространство пустое, безъ воздуха или иного тѣла... Насосъ былъ какой употребляется на пожарахъ... съ поршнемъ тщательно сдѣланнымъ и двумя кожаными клапанами, изъ которыхъ внутреннiй, въ отверстiи насоса служилъ для вхожденiя воды въ насосъ, а внѣшнiй *b* для выпусканiя ея. Насосъ придѣлывался въ нижней части бочки помощiю желѣзнаго кольца и четырехъ гвоздей. Правда, въ первый разъ гвозди сломались... Замѣнили ихъ болѣе крѣпкими. Наконецъ достигнули того что три сильныхъ человѣка тащившiе поршень могли выгнать воду чрезъ внѣшнiй клапанъ. Слышался звукъ во всѣхъ

частяхъ бочки какъ бы звукъ воды сильно кипящей и продолжался пока бочка на мѣсто выкаченной воды наполнилась воздухомъ. Надо было помочь какъ-нибудь этому злу. Сдѣлана была малая бочка и вставлена въ большую. Насосъ съ длинной шейкой продѣланной сквозь стѣнку большой бочки прикрѣплялся къ малой наполненной водою. Въ большую тоже налита вода, и работа возобновилась. Вода была вытянута изъ малой бочки и на мѣсто себя оставила несомнѣнно пустое пространство. Но когда день склонился къ вечеру, работы кончились и всякій шумъ умолкъ, слышанъ былъ измѣнчивый и прерывистый звукъ, точно поющей птички, и такъ цѣлые три дня. Наконецъ открыто было отверстіе малой бочки и найдено что она въ значительной части наполнена водой и воздухомъ; однакожъ была и нѣкоторая часть пустая, такъ какъ, при открываніи, воздухъ вошелъ съ нѣкоторою силой.“ Замѣнивъ деревянную бочку большимъ мѣднымъ сосудомъ сложеннымъ изъ двухъ полушарій (магдебургскія полушарія) Отто фонъ-Герике могъ произвести опытъ въ болѣе совершенной формѣ. „Въ началѣ поршень ходилъ легко, но мало-по-малу двигать его сдѣлалось такъ трудно что два крѣпкихъ человѣка едва справлялись (фиг. 129). Когда, двигая поршень взадъ и впередъ, продолжали выкачиваніе, надѣясь удалить весь воздухъ, внезапно мѣдный шаръ съ большимъ шумомъ, при общемъ ужасѣ, такъ сжался словно полотно измятое въ рукѣ или какъ будто сброшенъ былъ съ силой съ высочайшей башни. Причину приписали небрежности мастера сдѣлавшаго сосудъ не достаточно круглымъ“. Когда кранъ *B* открывался, воздухъ врывался стремительно и„ не безопасно было налагать руку: такъ сильно она притягивалась“.

Фиг. 129.

Чтобы производить опыты съ бо́льшимъ удобствомъ и совершенствомъ Герике тщательно передѣлалъ самый насосъ, давъ ему форму изображенную на фиг. 130.



Фиг. 130.

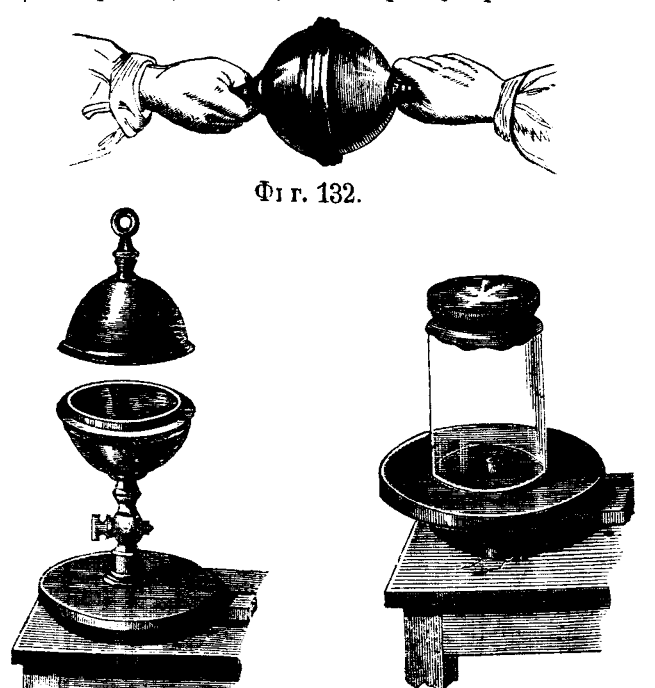
Замѣчателенъ опытъ Герике произведенный съ магдебургскими полушаріями большихъ размѣровъ (около фута въ діаметрѣ). Когда воздухъ былъ выкаченъ, шестнадцать лошадей не въ силахъ были раздѣлить ихъ (фиг. 131 на слѣд. страницѣ). Когда же при бо́льшемъ усиліи полушарія наконецъ раздѣлялись слышался звукъ какъ выстрѣлъ (crepitum edunt instar scolopeti si explodatur).

Опытъ съ магдебургскими полушаріями небольшихъ размѣровъ и въ настоящее время одинъ

изъ употребительнѣйшихъ для доказательства ат-

Фиг. 131.

мосфернаго давленія (фиг. 132 и 133). Для той же цѣли употребляютъ цилиндръ затянутый пузыремъ, который (фиг. 134) по мѣрѣ разрѣженія воз-

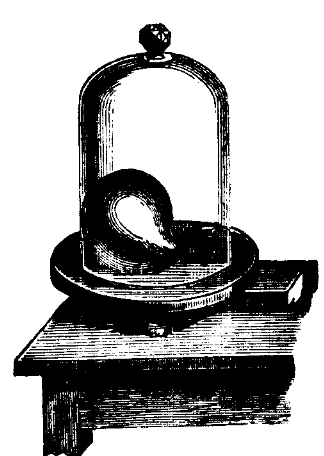


Фі г. 132.

Фпг. 133.

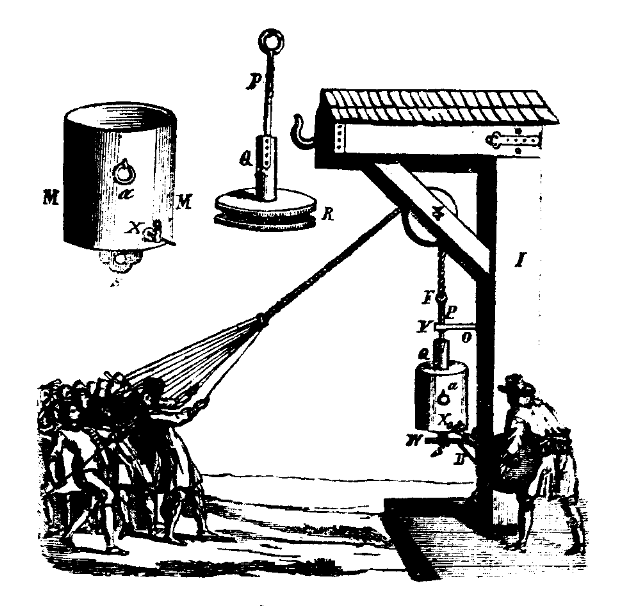
Фпг. 134.

духа вдавливается внутрь и наконецъ можетъ лопнуть съ значительнымъ шумомъ. Завязанный, но не надутый пузырь помѣщенный подъ колпакомъ насоса, (фиг. 135), по мѣрѣ удаленія воздуха, раздувается болѣе и болѣе.



Фиг. 135.

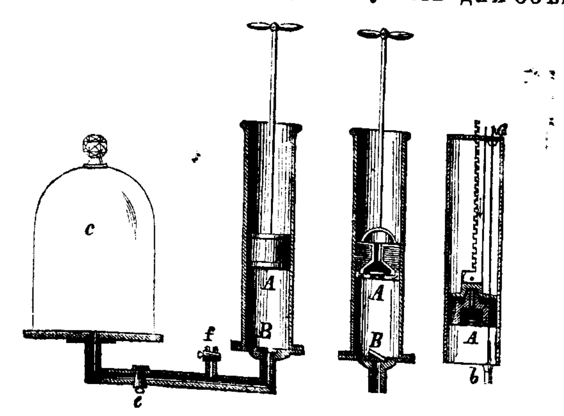
Въ 1654 году на съѣздѣ въ Регенсбургѣ, въ присутствіи императора Фердинанда III, Отто фонъ-Герике произвелъ многіе изъ своихъ опытовъ и въ числѣ прочаго опытъ израбраженный на фиг. 136 и представляющій какъ двад-



Фиг. 136.

цать и болѣе человѣкъ *) не въ состояніи поднять поршень R плотно входящій въ сосудъ MM, когда подъ этимъ поршнемъ помощію канала соединеннаго съ большимъ сосудомъ, гдѣ образована была пустота, воздухъ разрѣжался и надо было для поднятія поршня вверхъ побѣждать атмосферное давленіе, не уравновѣшенное снизу.

§ 96. Объясненіе устройства и дѣйствія воздушнаго насоса. Фиг. 137, 138 и 139 могутъ служить для объясненія



Фиг. 137. Фиг. 138. Фиг. 139.

началъ на которыхъ основано устройство воздушнаго насоса. Тѣло насоса состоитъ изъ цилиндра, въ который плотно входитъ поршень. Цилиндръ соединяется помощію канала съ тарелкой, на которой помѣщаютъ стеклянный колпакъ, или *колоколъ воздушнаго насоса*. На фиг. 137 изображено что каналъ снабженъ двумя кранами, f и e. Доведя поршень до основанія цилиндра, откроемъ кранъ e и закроемъ кранъ f. Поднимаемъ поршень. Воздухъ, находящійся подъ

*) Всѣ изображенія опытовъ Герике заимствованы изъ его сочиненія. Обращаемъ вниманіе что на фиг. 128 и 129 насосы изображены не плотно прилегающими къ мѣстамъ своего укрѣпленія, очевидно, съ цѣлію показать гвозди коими укрѣпленіе производилось.

колпакомъ, будетъ расширяться, повинуясь своей упругости, и часть его перейдетъ въ цилиндръ, наполнивъ пустое пространство, какое оставляетъ подъ собою поршень. Доведя поршень до верхней точки его пути, закрываемъ кранъ e и открываемъ кранъ f. Подъ колпакомъ остается воздухъ *разрѣженный*, такъ какъ часть его перешла въ цилиндръ. Опускаемъ поршень, и сдавливая находящійся подъ нимъ воздухъ выгоняемъ его наружу черезъ открытый кранъ f. Когда поршень дойдетъ до основанія цилиндра, снова закрываемъ кранъ f и возстановляемъ сообщеніе колпака съ цилиндромъ, открывъ кранъ e. При поднятіи поршня новая часть воздуха переходитъ изъ колпака въ цилиндръ и при опущеніи поршня выгоняется наружу. Такимъ образомъ, поднимая и опуская поршень, можно разрѣдить болѣе и болѣе воздухъ, находящійся подъ колпакомъ.

Но еслибы воздушный насосъ былъ устроенъ такъ какъ онъ здѣсь описанъ, то это былъ бы инструментъ весьма несовершенный. Когда поршень опускается внизъ, то онъ выгоняетъ воздухъ изъ цилиндра, но не выгоняетъ его изъ той части канала которая находится между цилиндромъ и краномъ f; эта часть осталась бы наполненною воздухомъ, и притомъ, воздухомъ неразрѣженнымъ, такъ какъ кранъ находится въ сообщеніи съ окружающимъ воздухомъ. Далѣе, то обстоятельство, что всякій разъ нужно бы было открывать и закрывать кранъ, не позволило бы произвести выкачиваніе достаточно быстро.

Употребленіе вмѣсто крановъ клапановъ, одного B при соединеніи цилиндра съ каналомъ, другаго въ самомъ поршнѣ A (фиг. 138), позволяетъ въ значительной мѣрѣ избѣгнуть этихъ недостатковъ. Оба клапана открываются вверхъ. Когда поршень подымается вверхъ, то давленіе внѣшняго воздуха удерживаетъ клапанъ A въ закрытомъ состояніи. Въ то

же время воздухъ, наполняющій колпакъ и каналъ, расширяясь, открываетъ клапанъ B, наполняя пустоту, образующуюся подъ поршнемъ. Когда поршень, опускается внизъ, клапанъ B закрывается; воздухъ находящійся подъ поршнемъ, сдавливается и, открывая клапанъ A, выходитъ наружу. Такъ какъ поршень плотно прилегаетъ ко дну цилиндра, то пространство, гдѣ можетъ остаться невыгнанный воздухъ, самое незначительное.

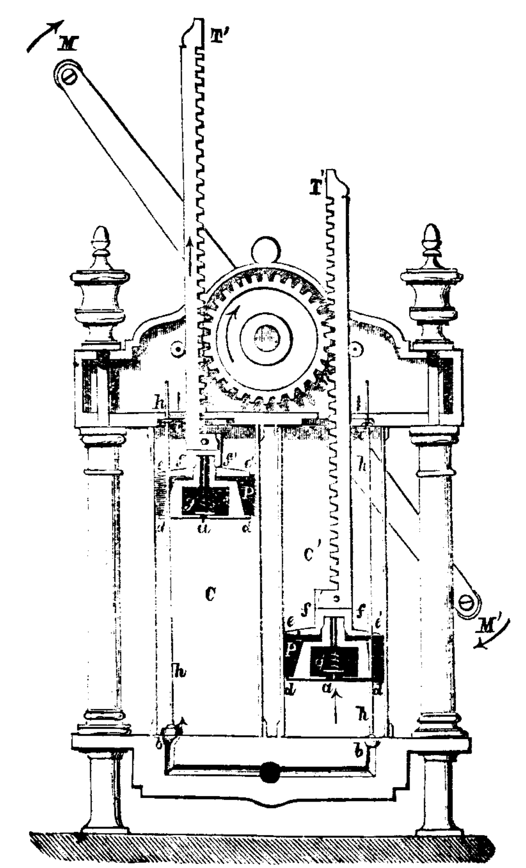
Впрочемъ устройство клапана при основаніи цилиндра ведетъ къ неудобству своего рода. Когда воздухъ подъ колпакомъ значительно разрѣженъ, то его упругость становится недостаточною для того, чтобы побѣдить вѣсъ клапана B и приподнять его. Слѣдовательно, будетъ безполезно продолжать выкачиваніе. Для избѣжанія этого недостатка отверстіе между цилиндромъ и каналомъ закрывается не клапаномъ, а особою пробкой, введенною французскимъ механикомъ Фортеномъ. Металлическій стержень (фиг. 139) проходитъ чрезъ тѣло поршня и можетъ двигаться взадъ и впередъ, но впрочемъ такъ, что воздухъ не можетъ пройдти между нимъ и тѣломъ поршня. Когда поршень опускается, онъ увлекаетъ съ собою этотъ стержень до тѣхъ поръ, пока коническая пробка плотно закроетъ отверстіе. Во все время, пока поршень движется внизъ, онъ, скользя по стержню, нажимаетъ его, а слѣдовательно и пробку внизъ. Когда поршень начинаетъ подниматься, онъ увлекаетъ съ собою стержень, и отверстіе открывается. При этомъ верхняя часть стержня встрѣчаетъ крышку цилиндра, которая не позволяетъ ему подниматься выше. Опускающійся поршень вновь закроетъ отверстіе и т. д.

Самый поршень устраивается слѣдующимъ образомъ. Его внутренняя часть состоитъ изъ довольно толстой металлической трубки, расширенной книзу и помѣщенной на металлическомъ основаніи. На трубку надѣвается рядъ кружковъ изъ кожи, пропитанныхъ масломъ и плотно сжатыхъ между собою помощію верхней металлической крышки, нажимаемой гайкою. Нажимая кожаные кружки, болѣе или менѣе сильно, одинъ на другой, можно увеличить или уменьшить діаметръ поршня, такъ чтобъ онъ плотно входилъ въ цилиндръ и воздухъ не могъ проникнуть между нимъ и стѣнками цилиндра. Во внутреннемъ каналѣ поршня находится маленькій клапанъ, состоящій изъ плоской пуговки, плотно закрывающій маленькое отверстіе, къ которому она слегка прижимается спиральною пружиной. Устройство цилиндра и поршня воздушнаго насоса ясно видно на фиг. 140, изображающей насосъ съ двумя цилиндрами.

Колоколъ воздушнаго насоса помѣщается на стеклянномъ

хорошо отшлифованномъ кругѣ, называемомъ *тарелкой* воздушнаго насоса. Края колокола также отшлифованы и смазываются саломъ, для того, чтобы во всѣхъ точкахъ касались тарелки, и внѣшній воздухъ не могъ проникнуть подъ колоколъ.

§ 97. Насосъ съ двумя цилиндрами. Въ первое время послѣ изобрѣтенія воздушнаго насоса, его устраивали съ однимъ цилиндромъ. Но насосъ съ однимъ цилиндромъ представляетъ неудобство, состоящее въ томъ, что чѣмъ болѣе выкачивается воздухъ, тѣмъ труднѣе становится качать. Дѣйствительно, по

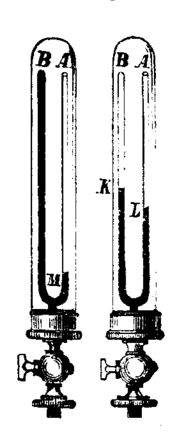


Фиг. 140.

мѣрѣ того, какъ разрѣжается воздухъ подъ колпакомъ, качающій долженъ побѣждать, кромѣ тренія поршня о стѣнки цилиндра, еще давленіе внѣшняго воздуха, не вполнѣ уже уравновѣшивающагося упругостію внутренняго.

Дѣлая воздушный насосъ съ двумя цилиндрами (фиг. 140), можно избѣгнуть этого неудобства и въ то же время удвоить дѣйствіе. Помощію рукоятки и зубчатаго колеса поршни цилиндра приводятся въ движеніе такъ что когда одинъ опускается, другой поднимается. Внѣшній воздухъ давитъ одинаково какъ на тотъ, такъ и на другой поршень, и они уравновѣшиваются взаимно, причемъ совокупное ихъ давленіе дѣйствуетъ на прочно помѣщенную ось зубчатаго колеса. Такимъ образомъ поршни представляютъ собою какъ бы двѣ чашки вѣсовъ, обремененныя одинаковыми грузами, и могутъ быть легко приведены въ движеніе.

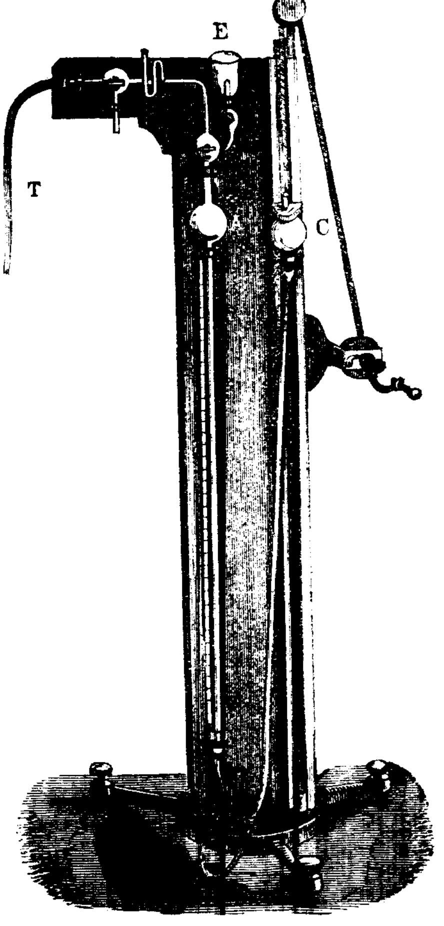
§ 98. Манометръ для узнанія степени разрѣженія воздуха.—Чтобъ узнать степень разрѣженія воздуха подъ колоколомъ насоса иногда присоединяютъ къ тарелкѣ барометрическую трубку, опускающуюся въ сосудъ со ртутью. По мѣрѣ того какъ воздухъ разрѣжается подъ колоколомъ, а слѣдовательно и въ соединенной съ нимъ трубкѣ, ртуть поднимается въ этой послѣдней, и еслибы пустота подъ колоколомъ могла быть доведена до той степени, какая бываетъ въ барометрической пустотѣ, то ртуть въ трубкѣ насоса и въ трубкѣ барометра стояла бы на одинаковой высотѣ.



Фиг. 141 и 142.

Впрочемъ, нѣтъ надобности брать длинную барометрическую трубку для того, чтобъ опредѣлить степень пу-

стоты подъ колоколомъ насоса. Обыкновенно берутъ укороченный барометръ *M* (фиг. 141) заключаемый въ запаянной сверху стеклянной трубкѣ, соединенной съ каналомъ, идущимъ отъ тарелки къ тѣлу насоса. Такой барометръ начинаетъ понижаться только тогда, когда давленіе внутренняго воздуха уменьшилось уже значительно. Тогда по разности высотъ *K* и *L* ртути (фиг. 142) въ закрытомъ колѣнѣ *B* (вверху котораго образуется Торричелліева пустота) и въ открытомъ *A* можно судить о давленіи или упругости воздуха, остающагося въ снарядѣ послѣ выкачиванія.



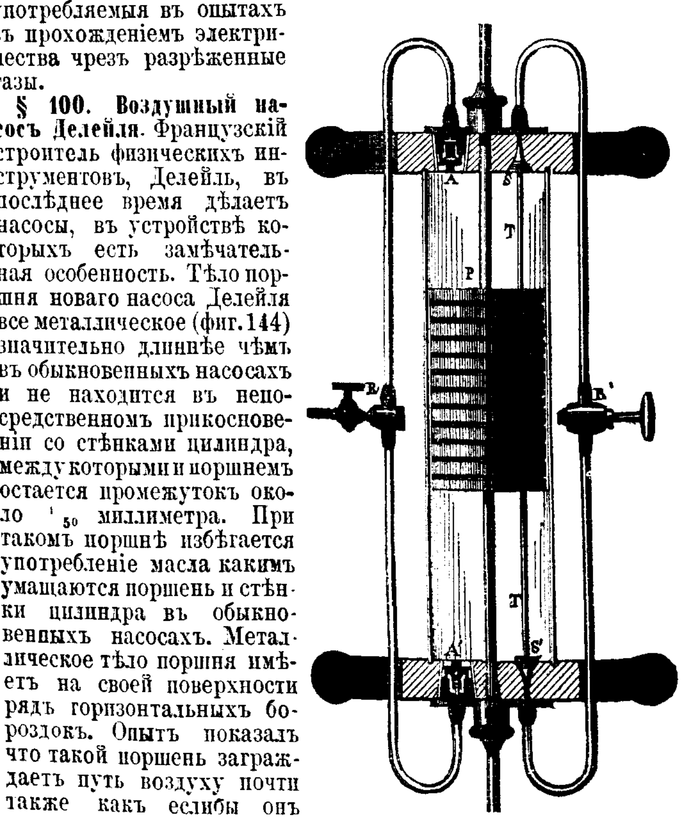
Фиг 143.

Помощію насоса хорошаго устройства можно, разрѣдить воздухъ на столько что разность высотъ ртути въ двухъ колѣнахъ укороченнаго барометра будетъ менѣе двухъ и даже одного миллиметра.

§ 99. Ртутный воздушный насосъ. Въ новѣйшее время для полученія болѣе совершенной пустоты чѣмъ какая можетъ быть достигнута насосомъ употребляютъ барометрическій пріемъ. образуя Торричелліеву пустоту поверхъ ртути. Фиг. 143 изображаетъ такую ртутную

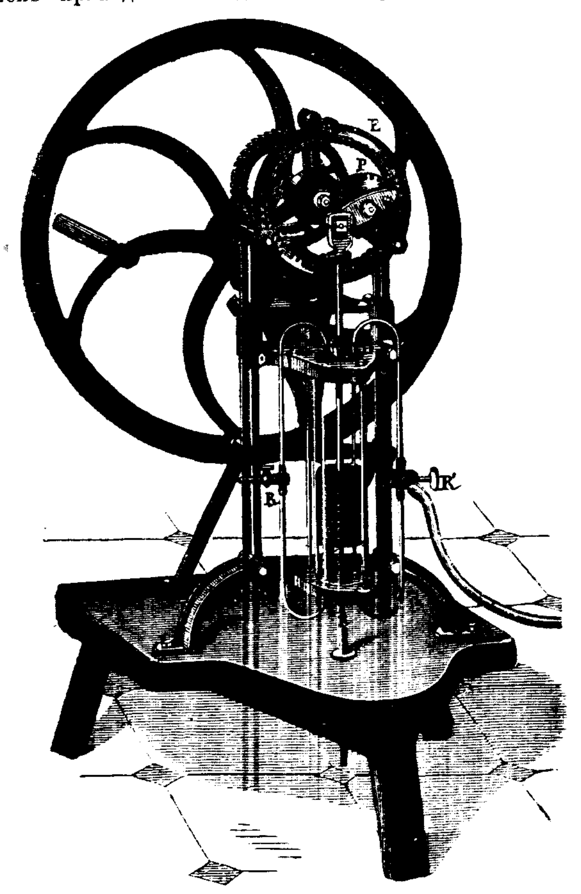
пневматическую машину. Плотная каучуковая трубка соединяетъ барометрическую трубку имѣющую вверху резервуаръ *A* съ сосудомъ *C* наполненнымъ ртутью. Когда сосудъ *C* подымаютъ, ртуть постепенно наполняетъ барометрическую трубку и резервуаръ *A*, причемъ воздухъ изъ трубки и резервуара выходитъ наружу такъ какъ сообщеніе съ окружающимъ воздухомъ оставляютъ свободнымъ. Затѣмъ это сообщеніе прерываютъ, и сосудъ *C* опускаютъ внизъ. Ртуть въ барометрической трубкѣ понижается оставляя резервуаръ *A* пустымъ. Поворачиваютъ кранъ такъ что чрезъ трубку *T* воздухъ пространства въ которомъ хотятъ произвести пустоту, приходитъ въ сообщеніе съ пустымъ резервуаромъ и разрѣжается. Повторяя операцію много разъ можно достигнуть весьма совершенной пустоты. Помощію подобнаго насоса Гейсслеръ (механикъ въ Боннѣ) первый сталъ приготовлять трубки носящія его имя и употребляемыя въ опытахъ съ прохожденіемъ электричества чрезъ разрѣженные газы.

§ 100. Воздушный насосъ Делейля. Французскій строитель физическихъ инструментовъ, Делейль, въ послѣднее время дѣлаетъ насосы, въ устройствѣ которыхъ есть замѣчательная особенность. Тѣло поршня новаго насоса Делейля все металлическое (фиг. 144) значительно длиннѣе чѣмъ въ обыкновенныхъ насосахъ и не находится въ непосредственномъ прикосновеніи со стѣнками цилиндра, между которыми и поршнемъ остается промежутокъ около $^1/_{50}$ миллиметра. При такомъ поршнѣ избѣгается употребленіе масла какимъ умащаются поршень и стѣнки цилиндра въ обыкновенныхъ насосахъ. Металлическое тѣло поршня имѣетъ на своей поверхности рядъ горизонтальныхъ бороздокъ. Опытъ показалъ что такой поршень заграждаетъ путь воздуху почти также какъ еслибы онъ



Фиг. 144.

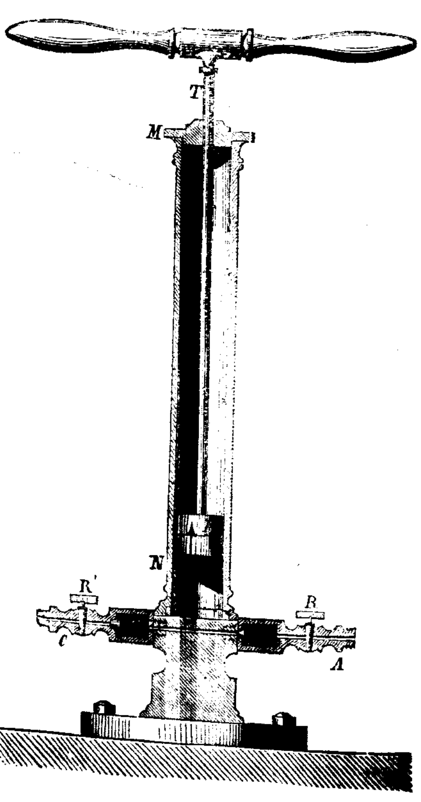
плотно прилегалъ къ стѣнкамъ, и если помощію его раздѣлить два пространства, — одно пустое, другое наполненное, или одно заключающее въ себѣ сжатый воздухъ, другое обыкновенный,—то воздухъ будетъ проходить чрезъ промежутокъ съ чрезвычайнымъ затрудненіемъ и крайне медленно (подобно какъ чрезъ трубку съ очень узкимъ діаметромъ и рядомъ небольшихъ расширеній на ея протяженіи). Пробки *S* и *S'* попеременно приводятъ насосъ, помощію крана *R'* и каучуковой трубки, въ сообщеніе съ резервуаромъ откуда выкачивается воздухъ. Клапаны *A* и *A'* выпускаютъ выгоняемый воздухъ чрезъ каналъ съ краномъ *R*. Машина слѣдовательно съ двойнымъ дѣйствіемъ. Поршень приводится въ движеніе вверхъ и внизъ (фиг. 145)



Фиг. 145.

помощію колеса съ рукояткой и особаго механизма. Помощію этого насоса нельзя достигнуть значительной степени разрѣженія воздуха, но онъ удобенъ для того чтобы скоро и въ значительной мѣрѣ, достаточной для большей части опытовъ, разрѣжать воздухъ въ пріемникахъ значительнаго объема. Если каналъ R, вмѣсто того чтобы оставлять открытымъ, соединить съ нѣкоторымъ резервуаромъ, то выгоняемый насосомъ воздухъ будетъ поступать въ этотъ резервуаръ и въ немъ сжиматься. Машина можетъ слѣдовательно служить и для сжатія воздуха.

§ 101. Ручной насосъ для разрѣженія и сжатія воздуха. Онъ состоитъ (фиг. 146) изъ металлическаго цилиндра, въ которомъ движется плотно поршень, одѣтый кожей. Нижнія боковыя трубки A и C снабжены кранами R и R' и содержатъ каждая по маленькому клапану, состоящему изъ коничеcкой пробочки. Эти металлическія пробочки a и c входятъ въ коническія отверстія и слегка прижимаются къ нимъ спиральною пружинкой, окружающею тонкій стержень пробочки. Каналъ C посредствомъ трубки свинцовой или каучуковой соединяется съ пространствомъ, изъ котораго предполагается качать воздухъ или газъ. Когда краны R и R' открыты, и поршень P помощію рукоятки поднимается вверхъ, воздухъ подъ поршнемъ разрѣжается, давленіе внѣшняго воздуха плотно закрываетъ отверстіе a; отверстіе c открывается, и воздухъ или газъ изъ снаряда распространяется въ цилиндрѣ насоса. Когда поршень опускается, онъ сжимаетъ находящійся подъ нимъ газъ; отверстіе c закрывается.



Фиг. 146.

a открывается, и газъ выгоняется наружу или нагнетается въ резервуаръ въ случаѣ если насосъ служитъ въ качествѣ сжимающаго.

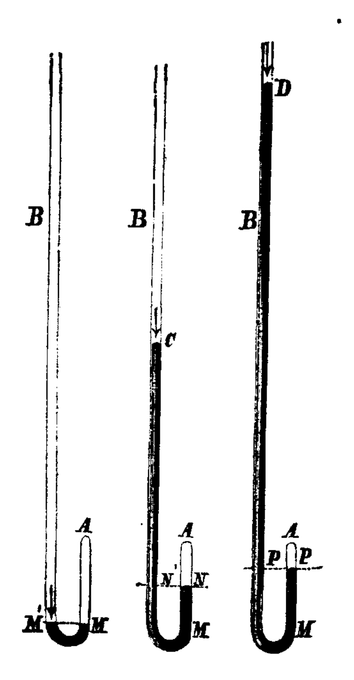
§ 102. Законъ Маріотта. *Объемъ данной массы воздуха или газа обратно пропорціоналенъ давленію, подъ какимъ этотъ воздухъ или газъ находится въ различныхъ случаяхъ, если только его температура одинакова во всѣхъ этихъ случаяхъ.* — Такимъ образомъ, если данная масса газа подъ опредѣленнымъ давленіемъ занимаетъ объемъ V, то подъ давленіемъ, которое вдвое болѣе, ея объемъ будетъ $\frac{1}{2}V$, подъ давленіемъ въ десять разъ большимъ объемъ будетъ $\frac{1}{10}V$ и т. д.

Этотъ законъ былъ открытъ около 1660 англійскимъ ученымъ Бойлемъ (Robert Boyle), и нѣсколько лѣтъ спустя изслѣдованъ французскимъ ученымъ, аббатомъ Маріоттомъ (не знавшимъ, какъ думаютъ, о трудахъ Бойля). По имени французскаго изслѣдователя самый законъ названъ *закономъ Маріотта.*

Замѣтимъ, что вмѣсто выраженія: *давленіе*, подъ какимъ газъ находится, можно сказать *упругость*, какую газъ имѣетъ, такъ какъ въ случаѣ равновѣсія массы газа его упругость уравновѣшиваетъ испытываемое имъ давленіе.

Для оправданія этого закона Маріоттъ бралъ длинную загнутую трубку (фиг. 147 и слѣд.), которой одно колѣно открыто, а другое, короткое, запаяно при вершинѣ. Когда ртуть въ такой трубкѣ находится на одинаковой высотѣ (фиг. 147) какъ въ длинномъ, такъ и въ короткомъ колѣнѣ, то давленіе атмосферы, дѣйствующее при M', уравновѣшивается упругостію воздуха, наполняющаго пространство AM, и этотъ воздухъ находится слѣдов. подъ давленіемъ *одной атмосферы.* Прибавляютъ въ длинное колѣно ртути до тѣхъ поръ, пока высота ртутной колонны $N'C$ надъ уровнемъ NN' (фиг. 148) будетъ равна высотѣ, какую имѣетъ во время опыта ртуть въ трубкѣ барометра. Въ такомъ случаѣ воздухъ въ короткомъ колѣнѣ будетъ подъ давленіемъ *двухъ* атмосферъ. Найдемъ что занимаемое имъ пространство AN будетъ *вдвое* менѣе пространства AM. Если колонна ртут-

ти (фиг. 149) DP будетъ вдвое болѣе барометрической колонны, то воздухъ въ короткомъ колѣнѣ будетъ подъ давленіемъ *трехъ* атмосферъ. Найдемъ, что пространство AP будетъ *втрое* менѣе AM.

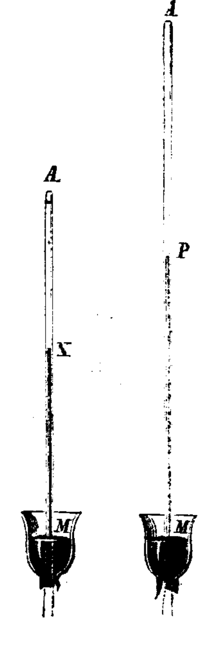


Фиг. 147. Фиг. 148. Фиг. 149.

Чтобъ оправдать законъ Маріотта для давленій, которыя меньше атмосфернаго, берутъ запаянную съ одного конца цилиндрическую трубку около метра длиной, наполняютъ большую часть ея ртутью (напр. около $^1/_8$ всей длины), оставивъ воздухъ въ остальномъ пространствѣ; закрываютъ отверстіе пальцемъ и опрокидываютъ трубку въ глубокій сосудъ со ртутью (на фиг. 150 и 151 представлена только верхняя часть сосуда). Воздухъ занимаетъ верхнюю часть трубки, и ртуть, когда палецъ вынутъ, останавливается на опредѣленной высотѣ. Погружаютъ трубку въ ртуть до тѣхъ поръ, пока уровень ртути будетъ одинаковъ какъ въ сосудѣ, такъ и внутри трубки. Потомъ повышаютъ трубку; воздухъ при этомъ будетъ расширяться и ртуть поднимется въ трубкѣ. Продолжаютъ повышеніе до тѣхъ поръ, пока высота ртутной колонны MN будетъ равняться $^1/_2$ высоты ртути въ барометрѣ. Въ такомъ случаѣ упругость воздуха заключающагося въ пространствѣ AN, равняется давленію половины атмосферы, такъ какъ эта упругость въ совокупности съ давленіемъ столба ртути MN, уравновѣшиваетъ давленіе атмосферы, дѣйствующее на свободную поверхность ртути въ чашкѣ; другими словами, воздухъ въ AN находится подъ давленіемъ *половины атмосферы.* Можно убѣдиться, что въ такомъ случаѣ пространство AN (фиг. 150) будетъ вдвое болѣе пространства AM, какое занималъ воздухъ въ первомъ опытѣ. Повышая трубку до тѣхъ поръ, пока высота столба MP (фиг. 151) будетъ равняться $^2/_3$ высоты ртути въ барометрѣ, будемъ имѣть воздухъ подъ

давленіемъ $^1/_3$ атмосферы, и легко убѣдиться что пространство AP будетъ втрое болѣе пространства AM.

Законъ Маріотта былъ повѣряемъ въ нынѣшнемъ столѣтіи различными учеными (особенно важны изслѣдованія французскаго ученаго Реньйо) помощію опытовъ произведенныхъ въ большихъ размѣрахъ при давленіи доходящемъ до 30 атмосферъ. Изслѣдованія эти показали что газы вообще не слѣдуютъ строго закону Маріотта. Для воздуха, впрочемъ, отступленія весьма незначительныя, такъ что во всѣхъ обыкновенныхъ приложеніяхъ этотъ газъ можно считать строго подчиненнымъ упомянутому закону. Отступленіе гораздо значительнѣе для углекислоты, которая принадлежитъ къ числу газовъ при сильномъ давленіи обращающихся въ жидкое состояніе. При давленіи 15 атмосферъ объемъ данной массы углекислоты уменьшается противъ объема, занимаемаго ею при давленіи одной атмосферы, не въ 15 разъ, какъ требуетъ законъ Маріотта, но въ 16. Водородъ также отступаетъ отъ закона Маріотта, но иначе. При увеличивающемся давленіи объемъ водорода уменьшается нѣсколько менѣе, чѣмъ какъ того требуетъ законъ Маріотта.



Фиг. 150. Фиг. 151.

Назвавъ V объемъ занимаемый данною массою газа при давленіи P, и V' объемъ той же массы газа при давленіи P', по закону Маріотта имѣемъ:

$$\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P} \quad \text{или} \quad VP = V'P'$$

Вообще, обозначая соотвѣтствующіе объемы и давленія одинаковыми значками, будемъ имѣть:

$$VP = V'P' = V''P'' = V'''P''' = \ldots$$

Слѣд. законъ Маріотта можно выразить такъ: *произведеніе объема данной массы газа на давленіе, подъ какимъ она находится, остается постояннымъ во всѣхъ случаяхъ* (если только не мѣняется температура).

Законъ можно выразить иначе слѣдующимъ образомъ. Когда данная масса газа при увеличивающемся давленіи уменьшается въ объемѣ, то ея плотность увеличивается, ибо то же количество

газа помѣщается въ меньшемъ объемѣ. Такъ какъ при этомъ мы имѣемъ дѣло съ тою же самою массою газа, то вѣсъ ея остается безъ перемѣны. Назовемъ этотъ вѣсъ p. Если объемъ газа V при давленіи P имѣетъ вѣсъ p, то вѣсъ единицы объема или плотность d въ этомъ случаѣ будетъ $d=\frac{p}{V}$. Плотность въ другомъ случаѣ, когда то же количество p газа подъ давленіемъ P имѣетъ объемъ V'; будетъ $d'=\frac{p}{V'}$.

Слѣд. $$\frac{d}{d'}=\frac{V'}{V} \text{ или } \frac{d}{d'}=\frac{P}{P'},$$

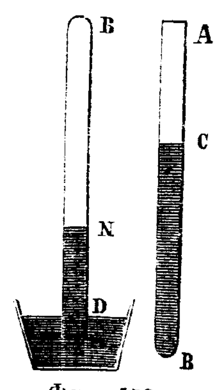
т.-е. *плотность газа прямо пропорціональна давленію, подъ которымъ онъ находится.*

§ 103. Задачи. 1) Опредѣлить величину давленія атмосферы на n квадр. единицъ при высотѣ барометра H (плотность ртути=13,59). Выразить атмосферное давленіе, когда ртутный барометръ показываетъ высоту H, высотою столба жидкости, которой плотность d.

2) Длинная, вертикальная, строго цилиндрическая трубка (фиг. 152) открытымъ концомъ погружена въ глубокій сосудъ со ртутью, и содержитъ въ себѣ сухой воздухъ въ пространствѣ отъ A до N (гдѣ $AN=h$ миллиметровъ) и колонну ртути въ пространствѣ отъ N до M (гдѣ $MN=h'$ милл.). Давленіе атмосферы равняется H милл. Какъ велика упругость воздуха въ пространствѣ AN или другими словами, подъ какимъ давленіемъ находится этотъ воздухъ? Какъ велика сдѣлается высота колонны ртути и длина пространства, занимаемаго воздухомъ, если поднять трубку на h'' милл. вверхъ изъ ртути (такъ что вертикальная длина трубки будетъ $h+h'+h''$)?

Фиг. 152.

3) Цилиндрическая трубка AB, (фиг. 153), которой длина h, наполнена до C ртутью ($CB=h'$). Опрокинемъ эту трубку открытымъ концомъ въ ртуть и погрузимъ такъ что длина AD погруженной части будетъ равняться b. Спрашивается, какъ велика будетъ длина ND пространства занятаго ртутью и длина NB пространства, занятаго воздухомъ? Давленіе атмосферы равняется H.



Фиг. 153.

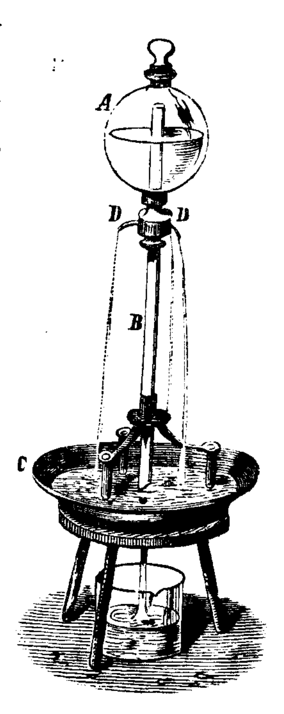
§ 104. Ливеръ или пипета. Ливеръ есть трубка, нѣсколько расширенная въ срединѣ (фиг. 154)

и имѣющая два отверстія: O и C. Отверстіе C узкое, напримѣръ миллиметра два или три въ діаметрѣ; отверстіе O такой величины, чтобъ его удобно было плотно закрыть пальцемъ. Опускаемъ ливеръ въ жидкость, оставляя отверстіе O открытымъ. Понятно, что жидкость остановится внутри ливера на той же высотѣ какъ въ сосудѣ. Закрывъ отверстіе O пальцемъ вынимаемъ ливеръ изъ жидкости. Когда ливеръ находится въ воздухѣ, на отверстіе C давитъ снизу атмосфера; сверху—упругость воздуха, находящагося въ пространствѣ отъ O до A и вѣсъ столба жидкости AC. Такъ какъ при наполненіи ливера отверстіе O было открыто и воздухъ имѣлъ свободный доступъ и слѣд. внутри ливера имѣлъ упругость, равную упругости окружающаго воздуха, то сумма давленій дѣйствующихъ при отверстіи C сверху внизъ, болѣе атмосфернаго давленія. Потому въ первый моментъ по вынутіи ливера часть жидкости вытечетъ чрезъ отверстіе C. Но когда нѣкоторое количество жидкости выйдетъ, объемъ, занимаемый воздухомъ, внутри ливера увеличится, упругость этого воздуха уменьшится, и весьма скоро наступитъ моментъ, когда упругость воздуха въ совокупности съ вѣсомъ столба жидкости будетъ равняться величинѣ атмосфернаго давленія. Жидкость не будетъ вытекать изъ ливера и можетъ быть перенесена куда угодно.

Фиг. 154.

Еслибы вмѣсто того, чтобъ оканчиваться снизу однимъ узкимъ отверстіемъ, ливеръ оканчивался довольно широкимъ дномъ, снабженнымъ цѣлымъ рядомъ узкихъ отверстій или дырочекъ, то мы имѣли бы снарядъ называемый *волшебною лейкою.* Оставляя отверстіе, находящееся вверху волшебной лейки, открытымъ или закрывая его пальцемъ, можно или дозволить жидкости вытекать, или прекратить истеченіе.

§ 104. Перемежающійся фонтанъ.— Перемежающійся фонтанъ можно разсматривать какъ обращенный ливеръ. Въ ливерѣ отверстіе O (фиг. 154), чрезъ которое воздухъ можетъ проникать внутрь снаряда, находится вверху; въ перемежающемся фонтанѣ этому отверстію соотвѣтствуетъ нижній конецъ трубки B (фиг. 155), входящей въ сосудъ A, наполненный водою и плотно закрытый сверху пробкою. Отверстію C ливера соотвѣтствуютъ три узкія трубочки D. Когда нижнее отверстіе трубки B открыто, воздухъ свободно проникаетъ внутрь сосуда A. Жидкость вытекаетъ чрезъ отверстія D. Каждое изъ этихъ отверстій снизу испытываетъ давленіе атмосферы, а сверху, во-первыхъ, также давленіе атмосферы, такъ какъ воздухъ имѣетъ свободный доступъ внутрь сосуда, и кромѣ того давленіе столба жидкости AD. Повинуясь этому послѣднему давленію, жидкость вытекаетъ. Но если закрыть нижнее отверстіе трубки B, то истеченіе прекратится, по той же причинѣ по какой оно прекращается въ ливерѣ, когда закрыто отверстіе O. Особенность въ устройствѣ перемежающагося фонтана состоитъ въ томъ что отверстіе трубки B закрывается не пальцемъ, но самою вытекающею жидкостью. Вытекающая жидкость падаетъ на тарелку C, имѣющую небольшое отверстіе, чрезъ которое жидкость стекаетъ въ стаканъ, стоящій подъ тарелкой. Такъ какъ отверстіе тарелки мало, то изъ нея менѣе утекаетъ жидкости чѣмъ сколько на нее падаетъ изъ сосуда A. Потому уровень жидкости на тарелкѣ повышается и наконецъ закроетъ отверстіе трубки B. Тогда истеченіе прекращается. Но мало-по-малу жидкость перетекаетъ въ стаканъ, и отверстіе трубки B снова открывается. Новое количество жидкости вытекаетъ изъ отверстій D, пока снова закроется отверстіе трубки B, и т. д.



Фиг. 155.

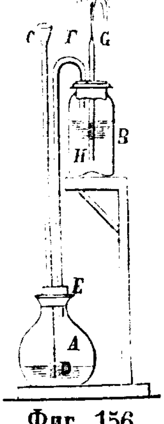
Почему, когда истеченіе прекращается, жидкость ... въ B имѣетъ высоту равную высотѣ AD жидкости въ верхнемъ сосудѣ?

§ 105. Героновъ *) фонтанъ. Черезъ трубку CD (фиг. 156)

*) Геронъ, александрійскій ученый родившійся около 120 г. до Р. Х., славился какъ изобрѣтатель многихъ снарядовъ дѣйствовавшихъ водой и воздухомъ. Отъ него осталось сочиненіе Pneumatica.

вода наливается въ сосудъ A, находящійся при помощи загнутой вверху трубки EF въ сообщеніи съ сосудомъ B, предварительно наполненнымъ водою. Чрезъ пробку сосуда B проходитъ трубка GH, оканчивающаяся узкимъ отверстіемъ G. Давленіе столба воды CD сжимаетъ воздухъ, находящійся въ сосудѣ A, въ трубкѣ EF и верхней части сосуда B. Сжатый такимъ образомъ воздухъ давитъ на поверхность воды въ сосудѣ B и заставляетъ ее бить фонтаномъ изъ отверстія G.

Фиг. 157 представляетъ другую форму Геронова фонтана. Вода, налитая на тарелку A, наполняетъ трубку E, сжимаетъ воздухъ въ сосудѣ C, и это сжатіе при помощи трубки D передается воздуху, находящемуся въ верхней части сосуда B, предварительно наполненнаго водою. Вслѣдствіе давленія сжатаго воздуха, вода бьетъ фонтаномъ чрезъ третью короткую трубку, входящую въ сосудъ B.

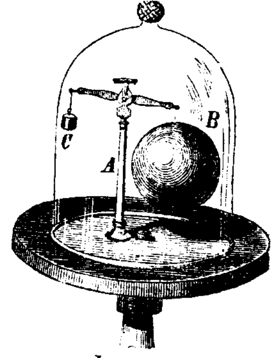

Фиг. 156.

Фиг. 157.

§ 108. Законъ Архимеда въ приложеніи къ газамъ. Аэростаты. Законъ Архимеда прилагается къ газамъ также какъ и къ жидкостямъ. Тѣло, окруженное газомъ, испытываетъ со стороны этого послѣдняго давленіе снизу вверхъ, котораго величина выражается вѣсомъ объема газа, равнаго объему тѣла. Выражая этотъ законъ въ той же формѣ, въ какой онъ выражается обыкновенно относительно тѣлъ, погруженныхъ въ жидкость можно сказать: *всякое тѣло, находящееся въ воздухѣ или вообще въ газѣ,*

теряетъ столько вѣса, сколько вѣситъ вытѣсняемый имъ объемъ воздуха или газа.

Слѣдующій опытъ, ясно показываетъ потерю вѣса, какую претерпѣваютъ тѣла въ воздухѣ. На коромыслѣ вѣшаются два тѣла весьма различнаго объема — одно, напримѣръ, запаянный стеклянный баллонъ P, другое, — небольшая гиря C которыхъ вѣсъ, когда они находятся въ воздухѣ, одинаковъ. Помѣстивъ уравновѣшенное такимъ образомъ коромысло подъ колоколъ воздушнаго насоса, выкачиваютъ воздухъ. Та сторона гдѣ виситъ шаръ, перевѣшиваетъ. Легко видѣть причину этого явленія. Два эти тѣла въ воздухѣ *казались* имѣющими одинаковый вѣсъ, потому что шаръ B по значительности своего объема терялъ болѣе вѣса чѣмъ гиря C, и эта потеря скрывала избытокъ вѣса шара B надъ гирею C.



Фиг. 158.

Если мы помѣстимъ внутри жидкости тѣло котораго вѣсъ менѣе вѣса равнаго ему объема этой жидкости, напримѣръкусокъ дерева въ водѣ, то такое тѣло, не будучи удерживаемо, поднимается вверхъ и располагается на поверхности жидкости. Понятно, что тѣло, помѣщенное въ воздухѣ и котораго вѣсъ менѣе вѣса равнаго объема воздуха, должно также подниматься вверхъ вопреки дѣйствію тяжести. Между газообразными тѣлами есть многія которыя легче атмосфернаго воздуха. Такъ водородный газъ въ 14 разъ легче воздуха, находящагося при томъ же давленіи и той же температурѣ. Наполнивъ водородомъ шаръ, котораго оболочка непроницаема для газа, можно этому шару дать такіе размѣры, что вытѣсняемый имъ вѣсъ воздуха будетъ болѣе вѣса оболочки вмѣстѣ съ заключающимся въ ней газомъ. Такой шаръ долженъ подниматься вверхъ. На этомъ основано устройство *аэростатовъ* или *воздушныхъ шаровъ*.

Представимъ себѣ, напримѣръ, что объемъ шара равняется 500 кубич. метрамъ. Кубическій метръ воздуха при температурѣ 0° и давленіи 760 миллим. вѣситъ 1,29 килограмм. Кубическій метръ водорода въ тѣхъ же условіяхъ вѣситъ только 0,09 килогр. Число 1,2 килогр., представляющее избытокъ вѣса воздуха надъ вѣсомъ водорода, выражаетъ величину силы, съ какою воздухъ стремится поднять вверхъ кубич. метръ водорода. Сила, дѣйствующая на весь шаръ, т.-е. на 500 куб. метровъ, будетъ 600 килогр. Такимъ образомъ, если вѣсъ оболочки и груза, который шаръ долженъ поднимать, менѣе этого числа, то такой шаръ полетитъ вверхъ.

Послѣ того какъ Кавендишъ (англійскій ученый) открылъ въ 1766 году чрезвычайную легкость водорода, нѣкоторые ученые дѣлали попытки наполнять водородомъ пузыри, шары изъ бумаги и т. п., надѣясь что они поднимутся вверхъ; но эти тѣла оказались слишкомъ проницаемыми для водорда, который легко проходитъ чрезъ самыя малыя скважины, и опытъ удался только съ мыльными пузырями. Въ 1782 году братья Монгольфьеры устроили первый воздушный шаръ, употребляя для наполненія его не водородъ, но разогрѣтый воздухъ. Шаръ пущенный ими публично въ Анноне (Annonay) въ началѣ 1783 года имѣлъ до 35 футовъ въ діаметрѣ и былъ сдѣланъ изъ полотна обложеннаго бумагой. Огонь, разведенный подъ отверстіемъ находившимся внизу шара, нагрѣвалъ воздухъ внутри его. Воздухъ какъ и всѣ тѣла расширяется отъ тепла и становится менѣе плотнымъ. Такимъ образомъ при достаточномъ нагрѣваніи вѣсъ шара съ заключающимся въ немъ теплымъ воздухомъ сдѣлался менѣе вѣса вытѣсняемаго имъ объема холоднаго воздуха, и шаръ поднялся вверхъ на значительную высоту.

Какъ скоро этотъ опытъ сдѣлался извѣстенъ въ Парижѣ, любители физики открыли подписку съ цѣлью повторить опытъ Монгольфьеровъ. Подъ руководствомъ профессора Шарля былъ изготовленъ шаръ 12 футовъ въ діаметрѣ. Для наполненія его Шарль, рѣшился употребить водородъ вмѣсто газа Монгольфьера (какъ называли тогда нагрѣтый воздухъ слу-

жившій для наполненія шара, ибо думали, что горѣніе доставляло особый легкій газъ, который и служитъ причиною поднятія шара). Оболочка шара Шарля была сдѣлана изъ тафты, пропитанной лакомъ изъ каучука, раствореннаго въ кипящемъ терпентинѣ. Этотъ первый шаръ съ водородомъ былъ пущенъ въ августѣ 1783 года.

Первое воздушное путешествіе было совершено въ октябрѣ 1783 г. молодымъ химикомъ Пилатромъ Дерозье, отличавшимся страстію къ опаснымъ опытамъ, и маркизомъ Д'Арландъ на *монгольфіеръ,* второе Шарлемъ и Роберомъ на аэростатѣ наполненномъ водородомъ.

Въ числѣ замѣчательнѣйшихъ воздушныхъ путешествій, предпринятыхъ съ ученою цѣлію, упомянемъ о двухъ путешествіяхъ французскихъ ученыхъ въ 1804 году: въ первомъ участвовали Гей-Люссакъ и Біо, во второмъ одинъ Гей-Люссакъ (поднялся до высоты 7000 метровъ.) Подобное путешествіе совершили въ Парижѣ въ 1850 году Бараль и Биксіо. Въ новѣйшее время замѣчательны путешествія Глешера директора метеорологическаго отдѣленія обсерваторіи въ Гриничѣ. Въ одномъ изъ своихъ путешествій (1862 г.), вмѣстѣ съ аэронавтомъ Коксвелемъ г. Глешеръ поднялся до высоты 11000 метровъ.

ОТДѢЛЪ ВТОРОЙ.

ЗВУКЪ.

§ 107. Что такое звукъ? Звукъ есть *ощущеніе* особаго рода доставляемое намъ органомъ слуха, подобно тому какъ свѣтъ есть ощущеніе доставляемое органомъ зрѣнія. Звукомъ называютъ также и то физическое явленіе отъ котораго это ощущеніе происходитъ. Въ этомъ смыслѣ „звукъ *) есть движеніе способное возбудить въ ухѣ ощущеніе особаго рода, которое этому органу свойственно". Такъ понимается слово звукъ когда, напримѣръ, говорится о происхожденіи, распространеніи, скорости звука и т. п.

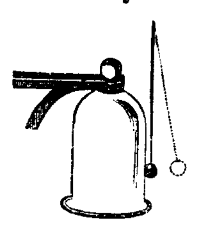
§ 108. Въ какомъ состояніи находятся тѣла издающія звуки? Тѣла издающія звукъ находятся въ состояніи *дрожанія.* Такъ, бѣлая струна натянутая на темномъ фонѣ, будучи приведена въ сотрясеніе смычкомъ или пальцемъ, явственно для глаза обнаруживаетъ свое дрожаніе принимая расширенную форму (фиг. 159) и

Фиг. 159.

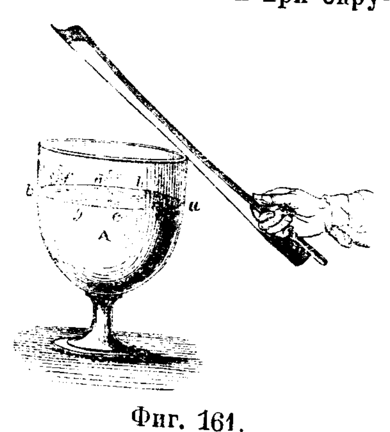
неясныя очертанія, вслѣдствіе быстраго движенія то въ ту то въ другую сторону. Это дрожаніе если оно

*) Опредѣленіе англійскаго ученаго начала нынѣшняго столѣтія, Йонга.

достаточно сильно и быстро, сопровождается звукомъ. Если по краю стекляннаго колокола провесть смычкомъ, то колоколъ издастъ сильный звукъ и придетъ въ сильное дрожаніе, какъ можно убѣдиться касаясь его рукой или, еще лучше, поднося къ нему упругій шарикъ на нити (фиг. 160). Шарикъ получаетъ замѣтные толчки отбрасывающіе его въ сторону. Можно убѣдиться что толчки эти не во всѣхъ пунктахъ колокола одинаковы. Есть точки при окружности колокола гдѣ они значительно слабѣе чѣмъ въ другихъ мѣстахъ. Объ общемъ состояніи звучащаго колокола удобнѣе всего судить, наливъ его до половины водою. На поверхности жидкости (фиг. 161) явственно обнаруживаются четыре системы волнъ, раздѣлимыхъ пунктами находящимися въ покоѣ (узлы). Дрожащій колоколъ состоитъ явственно изъ четырехъ частей колеблющихся такъ что онъ послѣдовательно удлинняется (фиг. 162) то по направленію отъ *a* къ *b* то по направленію отъ *c* къ *d*; потому когда части *a* и *b* сближаются между собою, части *c* и *d* удаляются одна отъ другой и наоборотъ; уз-



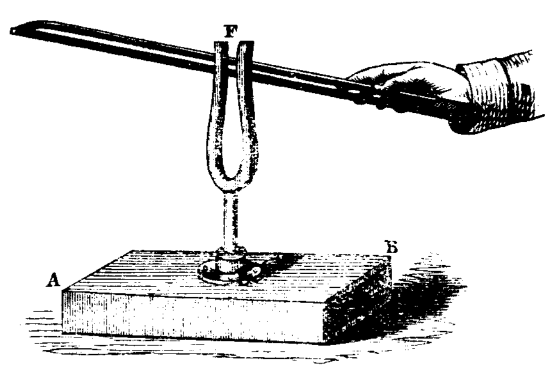
Фиг. 160.



Фиг. 161.

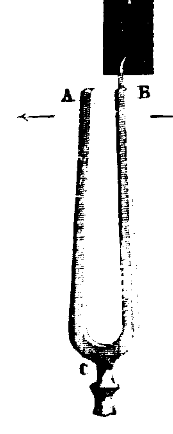
Фиг. 162.

лы *n* суть точки перегиба раздѣляющія части имѣющія противуположное движеніе. Дрожанія звучащаго *діапазона*, то-есть стальной полосы согнутой какъ показано на фиг. 163 легко можно обнаружить прикосновеніемъ руки, приближеніемъ шарика, а также замѣтить и глазомъ, особенно если приклеить воскомъ къ концу одной изъ вѣтвей фольговое остріе и наблюдать его кажущееся расширеніе. Дрожаніе діапазона, состоящее въ томъ что образующая его полоса изгибается послѣдовательно какъ показано на фиг. 164, такъ что вѣтви *an* и *bn* качаются напоминая движеніе взадъ и впередъ маятника, можно также обнаружить *графически*. Для этого берутъ стеклянную пластинку, коптятъ ее на лампѣ (снявъ съ лампы стекло) и, приведя діапазонъ съ остріемъ въ дрожаніе помощію смычка, проводятъ пластинку (фиг. 163) близь діапазона такъ что остріе его снимаетъ копоть съ пла-



Фиг. 163.

Фиг. 164.

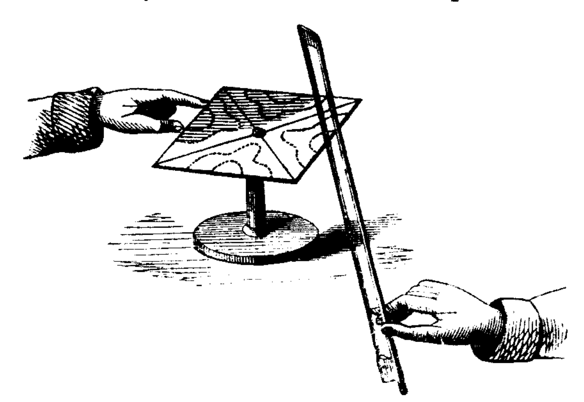


Фиг. 165.

стинки въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ касается ея во время движенія. Результатъ будетъ тотъ же, если, помѣстивъ пластинку въ покоѣ, проведемъ по ней остріемъ дрожащаго діапазона. На пластинкѣ изобразится волнистая кривая линія, каждый зигзагъ которой соотвѣтствуетъ движенію вѣтви діапазона взадъ и впередъ, или какъ это говорится, одному *полному* колебанію діапазона. Не трудно понять происхожденіе зигзаговъ. Если, взявъ мѣлъ въ руку, провести имъ по доскѣ сверху внизъ, то, очевидно, онъ начертитъ на доскѣ прямую линію, но если, опуская руку, въ то же время дадимъ ей быстрое боковое движеніе справа налѣво и слѣва направо, то мѣлъ, подобно острію діапазона, начертитъ зигзаги. Если измѣримъ время въ продолженіе котораго происходило движеніе діапазона или пластинки, то сочтя зигзаги будемъ знать число колебаній соотвѣтствующихъ этому времени, а отсюда и число колебаній какое діапазонъ дѣлаетъ въ единицу времени, напримѣръ въ секунду. Въ этомъ приложеніе графической методы къ опредѣленію числа колебаній.

Дрожаніе дощечекъ круглыхъ, четыреугольныхъ или иной формы, дѣлаемыхъ обыкновенно изъ металла или стекла, изучается по методѣ открытой къ концу прошлаго столѣтія Хладни.*) „Я наблюдалъ, говоритъ онъ, что дощечка стеклянная или металлическая издаетъ различные звуки, если ее ударяютъ въ разныхъ точкахъ.... Въ это время появилось въ журналахъ описаніе инструмента изобрѣтеннаго въ Италіи.... и состоящаго изъ ряда колоколовъ приводимыхъ въ звучаніе помощію одного или двухъ смычковъ. Это дало мнѣ идею воспользоваться смычкомъ для изученія дрожаній различныхъ звучащихъ тѣлъ.... Изъ стеклянной круглой дощечки укрѣпленной въ центрѣ я могъ извлекать смычкомъ различные звуки, но характеръ движенія соотвѣтствующій этимъ разнымъ звукамъ оставался мнѣ неизвѣстнымъ. Опыты съ электрическими фигурами на смолѣ (посыпанной порошками нѣкоторыхъ веществъ).... дали мнѣ мысль что различныя колебательныя движенія звучащей дощечки представятся въ разномъ видѣ если посыпать на ея поверхность мелкаго песку.... Фигура представившаяся моимъ глазамъ въ первомъ опытѣ съ этимъ пріемомъ походила на звѣзду съ десятью или двѣнадцатью лучами“.... Фиг. 166 изображаетъ опытъ

*) Хладни (Chladni) родомъ изъ Венгріи, родился въ 1756 году въ Виттенбергѣ. Знаменитъ изслѣдованіями въ области акустики. Замѣчательны также его изслѣдованія о происхожденіи аэролитовъ. Не занимая никакой оффиціальной должности, онъ провелъ значительную часть жизни въ переѣздахъ и путешествіяхъ, читая лекціи объ акустикѣ, показывая изобрѣтенные имъ инструменты. Умеръ въ Бреславлѣ 1827 года.

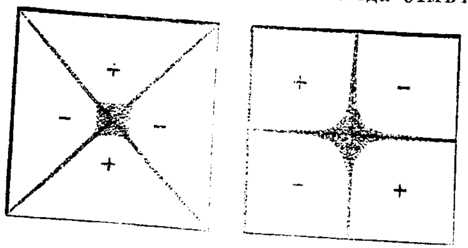


Фиг. 166.

Хладни съ четвероугольною дощечкою. Получаемыя фигуры называемыя *Хладніевыми* чрезвычайно разнообразны и соотвѣтствуютъ каждая особому звуку. Полученіе ихъ облегчается если во время движенія смычка прижимать тѣ или другія точки дощечки остріемъ или просто однимъ или двумя пальцами. Песокъ очевидно сбирается въ тѣхъ мѣстахъ которыя во время дрожанія остаются въ покоѣ, находясь на границѣ частей имѣющихъ противоположное дви-

женіе, гдѣ слѣдовательно дощечка испытываетъ перегибы.

Пластинки изображенныя на фиг. 167 представляютъ, напримѣръ, четыре части движущіяся такъ что когда отмѣченыя знакомъ + подымаются вверхъ, выше средняго уровня дощечки, отмѣченныя знакомъ — опускаются внизъ ниже уровня. Помѣстивъ пальцы какъ на фиг. 166 можно получить болѣе сложную фигуру, соотвѣтствующую болѣе быстрому дрожанію и болѣе высокому звуку.

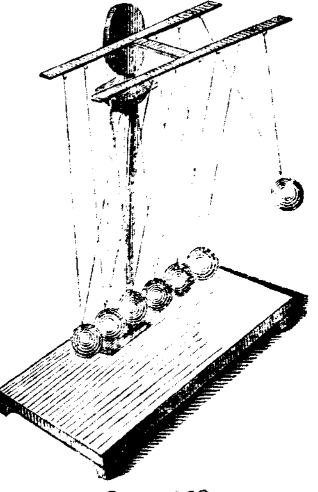


Фиг. 167.

Изъ совокупности описанныхъ опытовъ заключаемъ что, когда тѣло звучитъ, оно находится въ состояніи дрожанія, причемъ *части* его *колеблются одновременно взадъ и впередъ*, а *все тѣло* испытываетъ малыя періодическія измѣненія формы.

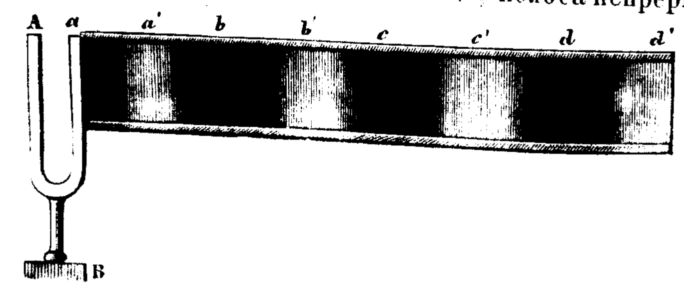
§ 109. Сообщеніе дрожаній звучащаго тѣла воздуху. Дрожанія звучащихъ тѣлъ, напримѣръ колокола, струны, діапазона, сообщаются отчасти воздуху, отчасти тѣмъ твердымъ подставкамъ, на которыхъ укрѣплены эти тѣла. Чтобы получить понятіе какъ дрожанія сообщаются воздуху, обратимся къ простѣйшему примѣру колебанія полосы предъ отверстіемъ трубки (фиг. 169 на стр. 142 изображаетъ такое колебаніе вѣтви діапазона предъ отверстіемъ трубки). Когда полоса быстро идетъ вправо, она, очевидно сжимаетъ предъ собою воздухъ, и это сжатіе, въ продолженіе времени пока полоса движется вправо, распространяется на нѣкоторую опредѣленную длину. Спрашивается на какое разстояніе простирается это сжатіе и какъ оно передается дальше? Глазомъ мы не видимъ сжатія воздуха и вообще не можемъ наблю-

дать его непосредственно. Потому для рѣшенія сказанныхъ вопросовъ должны прибѣгать къ теоретическимъ разсужденіямъ и къ сравненію съ другими извѣстными явленіями. Теоретическія соображенія (въ основаніе которыхъ полагается допущеніе что каждое элементарное измѣненіе въ данномъ мѣстѣ упругой среды, такой какъ воздухъ, даетъ себя *послѣдовательно* чувствовать во всей массѣ, распространяясь движеніемъ *равномѣрнымъ*) приводятъ къ заключенію что длина на какую распространяется сжатіе, или какъ это говорится длина *сжатой волны* воздуха, зависитъ отъ *времени*, въ продолженіе котораго полоса совершила свое движеніе и не зависитъ отъ величины пути пройденнаго полосою въ это время. Что касается втораго вопроса, то обсужденіе его облегчается сравненіемъ послѣдовательной передачи сжатія въ воздухѣ съ передачею толчка чрезъ рядъ упругихъ шаровъ. Если шаромъ изъ слоновой кости A (фиг. 168) ударить остальные шары, то замѣтимъ что всѣ они останутся на своихъ мѣстахъ, исключая послѣдняго, который отъ переданнаго импульса отскочитъ впередъ. При этомъ послѣдовательно каждый шаръ моментально сжимается и приходитъ въ нормальный видъ, передавъ сжатіе слѣдующему до послѣдняго, предъ которымъ нѣтъ шара, въ который онъ могъ бы упереться, передавая дѣйствіе. Подобнымъ образомъ, слой воздуха сжатый двинувшеюся вправо



Фиг. 168.

и остановившеюся полосою, въ слѣдующій промежутокъ времени приходитъ въ нормальное состояніе, сжавъ передъ собою новый слой той же длины. Въ слѣдующій промежутокъ и второй слой приходитъ въ покой, передавъ сжатіе третьему и т. д. Отъ полосы бѣжитъ *сжата волна*. Еслибы полоса двинулась влѣво, то вправо отъ себя она оставила бы пространство съ *разрѣженнымъ* воздухомъ, — разрѣженную волну, той же длины какъ сжатая если время движенія было то же. Разрѣженіе распространялось бы также какъ сжатіе: отъ полосы бѣжала бы вправо *разрѣженная волна*. Если, наконецъ, полоса непрерывно движется вправо и влѣво, т.-е. дрожитъ, то она посылаетъ въ трубу рядъ послѣдовательныхъ сжатій и разрѣженій, или рядъ волнъ, въ которомъ за каждою сжатою слѣдуетъ разрѣженная той же длины *). Длина эта остается постоянною, дѣлаетъ ли полоса большіе или малые размахи, такъ какъ качанія ея, подобно качаніямъ маятника, исохронны (§ 37). Когда

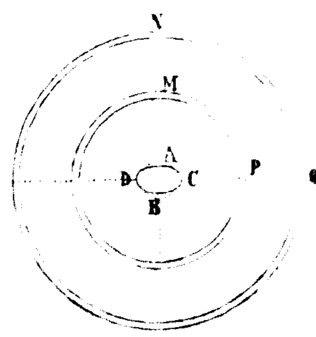


Фиг. 169.

*) Когда полоса движется влѣво отдѣльнымъ движеніемъ, она
идетъ отъ слоя воздуха, находящагося въ нормальномъ состо-
яніи; въ случаѣ движенія взадъ и впередъ она, поступая влѣво,
удаляется отъ сжатаго слоя. Не должно ли это измѣнить наше
разсужденіе? Нисколько, ибо ближайшая къ полосѣ часть слоя
когда полоса, послѣ момента остановки, начинаетъ поступать
влѣво, уже успѣла придти въ нормальное состояніе и слѣдова-
тельно явленіе происходитъ одинаково въ обоихъ случаяхъ.

полоса сдѣлаетъ, напримѣръ, четыре полныхъ качанія взадъ и впередъ, предъ нею будетъ восемь волнъ: четыре сжатыхъ и четыре разрѣженныхъ (фиг. 169). Тѣло помѣщенное на другомъ концѣ трубки когда волны достигнутъ его, будетъ получать послѣдовательные импульсы, то-есть смѣны усиленнаго и ослабленнаго давленія.

Мы выбрали простѣйшій случай. Когда дѣло идетъ о тѣлѣ звучащемъ въ неограниченной массѣ воздуха, тогда то состояніе въ какое приводится воздухъ колебаніями тѣла не представляется воображенію съ такою простотою какъ въ примѣрѣ полосы и трубки. Во всякомъ случаѣ, какъ показываетъ теорія, оправдываемая опытомъ, звучащее тѣло можно разсматривать какъ центръ безконечнаго числа звуковыхъ лучей или радіусовъ, по которымъ звуковыя волны распространяются съ равною постоянною скоростію во всѣ стороны. Такъ импульсъ данный воздуху колоколомъ въ моментъ удлиненія его отъ D къ C (фиг. 170) почувствуется по истеченіи опредѣленнаго времени въ нѣкоторомъ сферическомъ слоѣ MP, по истеченіи еще нѣкотораго времени въ концентрическомъ съ первымъ слоѣ NQ и такъ далѣе. За удлиненіемъ слѣдуетъ сокращіе: это измѣненіе формы даетъ новый импульсъ, распространяющійся вслѣдъ за первымъ. Волны бѣгущія отъ колокола какъ центра, очевидно, не одинаковы на разныхъ радіусахъ, хотя и бѣгутъ съ одинакою скоростію; по радіусу CQ посылается, напримѣръ, сжатіе въ то время какъ по радіусу AN бѣжитъ разрѣженіе. Достигая предметовъ, находящихся въ воздухѣ, звуковыя волны даютъ имъ малые періодическіе толчки соотвѣтственно колебаніямъ звучащаго тѣла.

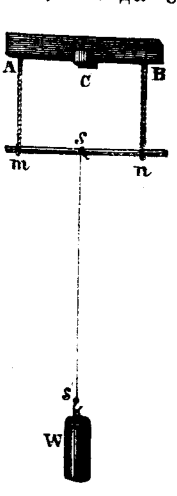


Фиг. 170.

§ 111. Сообщеніе дрожаній звучащаго тѣла твердымъ подставкамъ. Дрожанія звучащаго тѣла сообщаются вообще всѣмъ тѣламъ находящимся съ нимъ въ прикосновеніи, и во многихъ случаяхъ твердыя части, на которыхъ укрѣплено звучащее тѣло, имѣютъ существенное значеніе для распространенія его дрожаній. Такъ, если взявъ діапазонъ за его ножку въ

руку, приведемъ его въ дрожаніе дѣйствіемъ смычка или ударомъ (напримѣръ, деревяннаго молоточка, покрытаго кожею или сукномъ), діапазонъ издастъ звукъ который будетъ слышаться весьма слабо. Но если поставимъ ножку діапазона на доску, прислонимъ, напримѣръ, къ покрышкѣ стола, то звукъ слышится гораздо сильнѣе. Толчки ножки, существованіе которыхъ не трудно доказать опытомъ, сообщаются твердой поверхности приходящей, въ свою очередь, въ колебаніе и ударяющей въ воздухъ, который такимъ образомъ получаетъ импульсы отъ большой поверхности, тогда какъ въ первомъ случаѣ получалъ ихъ только отъ поверхности діапазона. Дѣйствіе усиливается. То мѣсто руки гдѣ она прикасается въ первомъ опытѣ къ ножкѣ діапазона также получаетъ толчки, но мягкія и разнородныя части руки, принимая толчки, не передаютъ ихъ далѣе (вообще мягкія волокнистыя тѣла, какъ вата, поглощаютъ звукъ, такъ какъ дрожанія чтобы распространяться въ нихъ должны дѣлать переходъ чрезъ разнородныя части, всегда сопровождающійся потерею движенія).

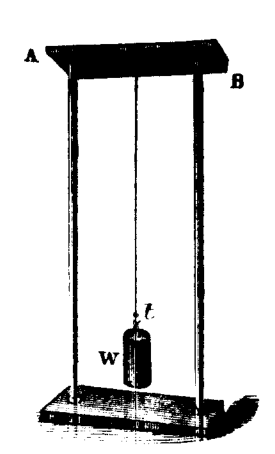
Колеблющаяся струна сама по себѣ обыкновенно не въ состояніи дать воздуху толчки достаточно сильные чтобы произвести впечатлѣніе на ухо наблюдателя. Такъ если повѣсить стальную тонкую проволоку на желѣзномъ прутѣ привѣшенномъ въ свою очередь къ деревянной перекладинѣ двумя веревками *Am* и *Bn* (фиг. 171) и обременить грузомъ килограммовъ въ 14, то такая струна приведенная въ дрожаніе не издастъ замѣтнаго звука: мягкія веревки не передаютъ замѣтнымъ образомъ колебаній деревянной перекладинѣ. Но если ту же струну привѣсить прямо къ деревянной доскѣ *AB* (фиг. 172), то звукъ ея будетъ весьма слышенъ, ибо дрожанія чрезъ точку прикрѣпленія, получающую толчки при всякомъ качаніи струны, передаются доскѣ ударяющей въ воздухъ поверхностію значительной величины. Въ случаѣ колокола, дрожанія главнымъ образомъ



Фиг. 171.

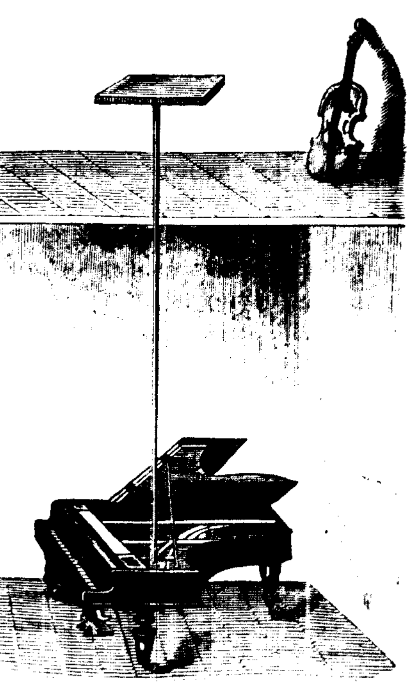
распространяется черезъ воздухъ, ибо ударяющая поверхность имѣетъ значительную величину.

Въ слѣдующихъ опытахъ твердое тѣло служитъ главнымъ образомъ для *передачи* дрожаній. Вмѣсто короткой ножки укрѣпимъ діапазонъ на весьма длинномъ прутѣ. Дрожаніе чрезъ этотъ длинный прутъ передастся доскѣ точно также какъ еслибы ножка непосредственно ея касалась.



Фиг. 172.

Въ фортепіано струны натянуты на доскѣ принимающей ихъ дрожанія и передающей ихъ воздуху. Помѣстимъ фортепіано въ нижнемъ этажѣ и чрезъ потолокъ проведемъ деревянную палку въ верхній этажъ, укрѣпивъ ее плотно въ продѣланномъ отверстіи помощію тѣлъ непроводящихъ звука. Если отверстіе задѣлано тщательно, никакой звукъ изъ нижняго этажа не проникнетъ въ верхній. Но если прислонить палку къ перекладинѣ, гдѣ на фортепіанной доскѣ укрѣплены струны, то дрожанія перекладины передадутся чрезъ шестъ въ верх-


Фиг. 173.

ній этажъ, и если на конецъ шеста положить доску или еще лучше какой-нибудь музыкальный инструментъ, напримѣръ гитару, скрипку, контрабасъ (со струнами или безъ нихъ ибо дѣло въ ящикѣ, на которомъ укрѣплены струны), то звуки передадутся съ замѣчательною силою.

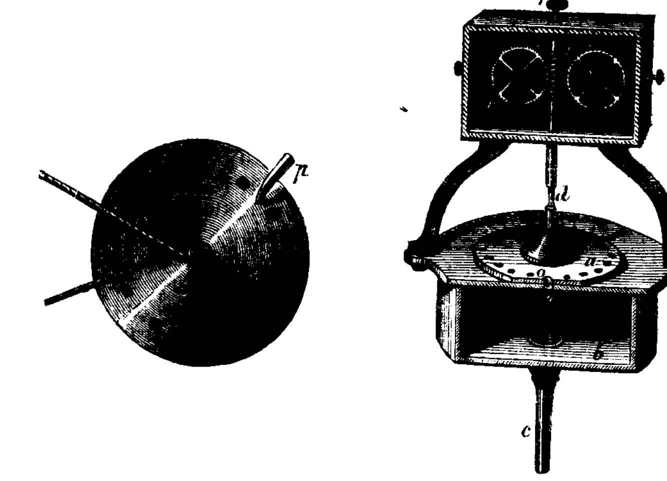
Дрожанія могутъ распространяться и чрезъ жидкія тѣла. Подъ водою можно слышать звуки производимые въ воздухѣ и въ воздухѣ звуки производимые подъ водой. Еще сильнѣе слышны звуки производимые въ водѣ если наблюдатель самъ погрузится въ воду, такъ какъ въ такомъ случаѣ нѣтъ утраты движенія происходящей всякій разъ при переходѣ дрожаній изъ одной среды въ другую.

§ 112. Образованіе звуковыхъ волнъ другими способами кромѣ дрожанія твердыхъ тѣлъ. Устройство сирены. Звуковыя волны можно произвести въ воздухѣ и другими способами кромѣ дрожанія твердыхъ тѣлъ. Стремительное вторженіе воздуха въ пространство гдѣ онъ разрѣженъ, напримѣръ въ пустоту подъ пузыремъ прорываемымъ отъ давленія атмосферы, сопровождается сильнымъ стукомъ. Взрывъ зажженной смѣси водорода и кислорода пораждаетъ звуковую волну значительной силы. Къ тому же результату ведетъ быстрое расширеніе сжатаго газа (разрывъ, напримѣръ, пузыря, приведеннаго въ сообщеніе съ резервуаромъ заключающимъ сжатый воздухъ), внезапный переходъ изъ твердаго состоянія тѣла въ газообразное въ случаѣ воспламененія пороха и гремучихъ составовъ и т. д. Наконецъ можно не прибѣгая къ дрожаніямъ твердыхъ тѣлъ возбудить въ воздухѣ цѣлый послѣдовательный рядъ звуковыхъ волнъ, и вслѣдствіе того *длящійся звукъ* помощію толчковъ даваемыхъ воздуху струею газа *прерывисто* истекающаго изъ отверстія. На этомъ началѣ основано устройство *сирены*, изобрѣтенной французскимъ ученымъ первой половины нынѣшняго столѣтія, Коньяръ де Латуромъ *).

*) Идея прерывистаго истеченія въ приложеніи къ образованію звука была еще прежде Коньяра де Латура осуществлена англійскимъ ученымъ, Робинсономъ, помощію клапана, находившагося при отверстіи откуда выходила струя, и то закрывавшагося, то открывавшагося.

„Такъ какъ звукъ, говоритъ онъ, рождаемый инструментами происходитъ, главнымъ образомъ, какъ думаютъ физики, вслѣдствіе правильнаго ряда многихъ толчковъ, какіе инструменты даютъ воздуху своими колебаніями, то мнѣ казалось естественнымъ думать что помощію механизма, который былъ бы устроенъ такъ чтобъ ударять воздухъ съ такою же скоростію и такою же правильностію, можно произвести музыкальный звукъ. Такой результатъ я дѣйствительно получилъ, заставляя потокъ воздуха выходить изъ мѣха чрезъ маленькое отверстіе, противъ котораго ставился вращающійся кругъ, приводимый въ движеніе или дѣйствіемъ самого потока или какимъ механическимъ средствомъ. Кругъ въ той части поверхности, которая прилегала къ отверстію, имѣлъ рядъ косыхъ дырочекъ, расположенныхъ на возможно равныхъ разстояніяхъ. Вслѣдствіе движенія круга дырочки проходятъ послѣдовательно предъ отверстіемъ, которое такимъ образомъ открыто когда мимо его проходитъ сквозное мѣсто круга и тотчасъ закрывается слѣдующимъ цѣльнымъ мѣстомъ. Такой прерывистый потокъ вслѣдствіе быстроты движенія круга даетъ внѣшнему воздуху правильный рядъ толчковъ, раждающихъ звукъ подобный человѣческому голосу и болѣе или менѣе высокій, смотря по быстротѣ движенія круга“.

Фигура 174 изображаетъ сирену въ простѣйшей формѣ. Кругъ съ дирочками быстро вращается предъ отверстіемъ трубки p, изъ которой дуетъ потокъ воздуха. На фиг. 175 представлена сирена болѣе сложнаго устройства. Воздухъ гонимый большимъ мѣхомъ входитъ чрезъ трубку c въ барабанъ снаряда, въ верхней части котораго сдѣланъ рядъ дирочекъ o, соотвѣтствующихъ дирочкамъ круга вращающагося на оси d. Стѣнки дирочекъ, какъ видно въ разрѣзѣ при o, направлены косвенно такъ что воз-



Фиг. 174. Фиг. 175.

духъ, переходя изъ отверстій барабана въ отверстія круга, давитъ въ сторону на стѣнки послѣднихъ (на чертежѣ вправо) и поворачиватъ кругъ, приходящій такимъ образомъ мало по малу въ быстрое вращеніе. Отверстія то открываются, то закрываются; окружающій воздухъ получаетъ импульсы отъ послѣдовательно выбрасываемыхъ изъ отверстій воздушныхъ массъ. Если сравнить звуковыя волны, раждаемыя въ воздухѣ спреною съ тѣми какія производитъ, напримѣръ, діапазонъ, то не трудно усмотрѣть въ чемъ между ними главное различіе. Когда колеблется вѣтвь діапазона, она посылаетъ отъ себя *сжатую волну* когда идетъ впередъ и *разрѣженную* волну когда идетъ назадъ. Въ случаѣ сирены, когда отверстія открыты, выходящая струя рождаетъ сжатую волну (хотя и инымъ образомъ чѣмъ вѣтвь діапазона), а когда отверстія закрыты, внѣшній воздухъ не испытываетъ дѣйствія и стремится возвра-

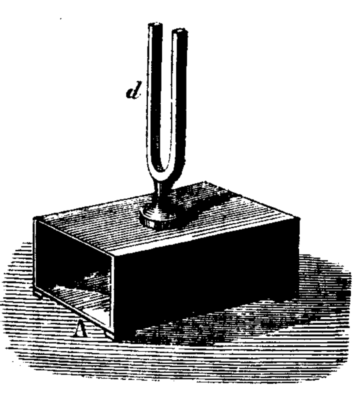
титься въ нормальное состояніе. Всѣ окружающіе предметы, до которыхъ достигаютъ волны, въ случаѣ діапазона испытываютъ поперемѣнно постепенное усиленіе и постепенное уменьшеніе давленія, въ случаѣ сирены рядъ прерывистыхъ толчковъ. Это замѣчаніе важно для сравнительнаго счета колебаній въ случаѣ сирены и въ случаѣ діапазона. Открытое состояніе отверстій соотвѣтствуетъ движенію діапазона впередъ, когда онъ посылаетъ сжатіе, закрытое — движенію назадъ, когда онъ посылаетъ разрѣженіе. Прохожденіе двадцати дырочекъ сирены (т.-е. во время одного оборота оси, если въ кругѣ какъ на фиг. 175 двадцать отверстій) соотвѣтствуетъ двадцати *полнымъ* колебаніямъ діапазона.

Винтъ нарѣзанный на оси d и сцѣпленный съ зубчатымъ колесомъ r позволяетъ опредѣлить число оборотовъ оси и круга впродолженіе даннаго времени, а слѣдовательно и число импульсовъ получаемыхъ окружающимъ снарядъ воздухомъ. Каждый оборотъ оси передвигаетъ кругъ на одинъ зубецъ; при этомъ на одно дѣленіе передвигается стрѣлка, укрѣпленная на оси колеса и ходящая по циферблату расположеннаго на передней сторонѣ снаружи. Второе колесо поворачивается на одинъ зубецъ при полномъ обращеніи перваго и отмѣчаетъ сотни оборотовъ. если первое колесо имѣетъ сто зубцовъ.

Фиг. 176.

§ 113. Усиливающіе звукъ ящики; резонаторы. Если поднести къ звучащему тѣлу ящикъ или вообще сосудъ опредѣленныхъ размѣровъ, то звукъ замѣтно усиливается. Такъ если держать діапазонъ надъ отверстіемъ длиннаго цилиндра (фиг. 176), то приливая

воды можно замѣтить постепенное усиленіе звука, которое при опредѣленной длинѣ наполняющей полость цилиндра воздушной колонны достигаетъ наибольшей величины. Если прильемъ еще воды и чрезъ то уменьшимъ длину воздушной колонны, то звукъ вновь ослабнетъ. Деревянный ящикъ, закрытый съ одного бока и длиною одинаковый съ воздушной колонной цилиндра въ описанномъ опытѣ, усиливетъ звукъ еще болѣе чѣмъ цилиндръ съ водою, особенно если діапазонъ (фиг. 177) укрѣпляется на самомъ ящикѣ. Усиливающій данный звукъ ящикъ можетъ быть и открытый съ обѣихъ сторонъ; въ такомъ случаѣ его длина должна быть вдвое болѣе длины закрытаго дающаго тотъ же результатъ. Усиливающее дѣйствіе зависитъ отъ колонны воздуха наполняющаго цилиндръ или ящикъ, и если закрыть отверстіе, то дѣйствіе это прекращается. Стѣнки деревяннаго ящика, на которомъ ставится діапазонъ участвуютъ въ явленіи тѣмъ, что принимаютъ толчки діапазона и передаютъ ихъ внутреннему воздуху, приходящему въ созвучное колебаніе. Дѣйствіе ящика сильнѣе если онъ отдѣленъ отъ стола, на которомъ стоитъ, каучуковыми валиками, чѣмъ если прикасается къ столу непосредственно деревянною стѣнкой.

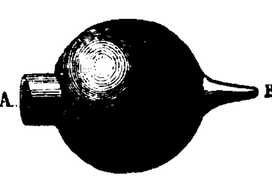


Фиг. 177.

Усиливающій звукъ снарядъ можетъ быть приложенъ къ самому уху. Тогда онъ носитъ названіе *резонатора*. Резонаторы изобрѣтены Гельмгольтцемъ *)

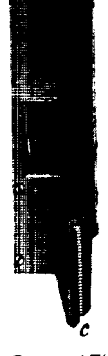
*) Знаменитый гейдельбергскій профессоръ физіологіи.

и суть мѣдные или стеклянные шары опредѣленныхъ размѣровъ, имѣющіе по два отверстія, изъ которыхъ одно *B* (фиг. 178) вставляется въ ухо, а другое принимаетъ звуковыя волны. Каждый резонаторъ усиливаетъ свой опредѣленный звукъ и можетъ явственно выдѣлить его изъ массы одновременно съ нимъ раздающихся другихъ звуковъ. Раковина и вообще всякая полость будучи приложена къ уху играетъ отчасти роль резонатора, усиливая ощущеніе нѣкоторыхъ звуковъ соотвѣтствующихъ ея размѣрамъ и выдѣляя ихъ изъ общаго дневнаго шума, не останавливающаго нашего вниманія и потому не замѣчаемаго.



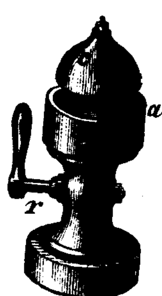
Фиг. 178.

§ 114. Звукъ производимый воздушною струею разбивающеюся объ остріе; органныя трубки; свистокъ локомотива. Струя воздуха разбивающаяся объ остріе производитъ въ окружающемъ воздухѣ весьма сложное сотрясеніе, способное при благопріятныхъ условіяхъ породить сильный звукъ. Въ органной трубкѣ воздухъ изъ органнаго мѣха входитъ (фиг. 179) чрезъ ножку *c* въ нижнюю камеру трубки изъ которой и дуетъ чрезъ узкое отверстіе *b*. Выходящая струя встрѣчаетъ срѣзанную на искосокъ стѣнку *a*, называемую верхнею губой трубки, и разбиваясь о нее приводитъ окружающій воздухъ въ сотрясеніе. Еслибы не было трубки, то звукъ былъ бы весьма слабъ; трубка дѣйствуютъ какъ усиливающій ящикъ, и, при надлежащей силѣ истеченія воздуха, между



Фиг. 179.

выходящею струей и воздухомъ трубки устанавливаетъ такое взаимнодѣйствіе, что звукъ раждающійся при разсѣченіи струи остріемъ будетъ именно тотъ который трубка способна усилить. На томъ же началѣ основано происхожденіе свиста, когда дуютъ ртомъ на стѣнки отверстія ключа котораго внутренній каналъ дѣйствуетъ, какъ усиливающая звукъ полость.



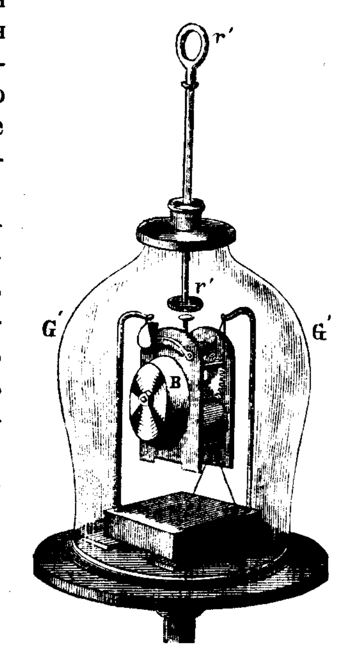
Фиг. 180.

Въ свисткѣ локомотива (фиг. 180) паръ стремительно выходитъ чрезъ круглую узкую щель *a* и разбивается объ обрѣзанныя наискось стѣнки колокола *c*.

§ 115. Распространеніе звука въ разрѣженномъ воздухѣ. Чрезъ пустоту звукъ не проходитъ. Въ разрѣженномъ воздухѣ распространеніе дрожаній происходитъ слабѣе чѣмъ въ нормальной атмосферѣ. Соссюръ замѣтилъ что пистолетный выстрѣлъ на вершинѣ Монъ-Блана звучитъ гораздо слабѣе чѣмъ при подошвѣ. Ослабленіе звука на высотѣ наблюдалъ также Гей-Люссакъ во время воздушнаго путешествія. Первые производители опытовъ съ воздушнымъ насосомъ, Отто фонъ Герике и Бойль, замѣтили что въ безвоздушномъ пространствѣ звукъ ослабѣваетъ почти до уничтоженія и вывели важное заключеніе что чрезъ *пустоту звукъ не распространяется.* Опытъ для доказательства этого положенія производится такимъ образомъ:

Подъ колпакомъ воздушнаго насоса помѣщается родъ будильника, въ которомъ молотокъ приводимый въ движеніе заведенною пружиной ударяетъ въ колоколъ *B* (фиг. 181). Вытянувъ воздухъ, отпускаютъ задержку помощію стержня *r*, (плотно проходящаго чрезъ крышу такъ что воздухъ проникнуть не можетъ);

молотокъ начинаетъ ударять. Но звукъ на небольшомъ уже разстояніи отъ колокола не слышенъ. Для того чтобы дрожанія не могли передаться чрезъ твердыя части, будильникъ вѣшается на нитяхъ, какъ видно на фиг. 181, и стержень не долженъ оставаться въ прикосновеніи съ снарядомъ. Опытъ удается совершеннѣе, если, выкачавъ разъ воздухъ, потомъ впустить подъ колоколъ водорода и, заставивъ вторично дѣйствовать насосъ, вытянуть и этотъ газъ. Когда колпакъ даже наполненъ водородомъ звукъ слышенъ очень слабо, почти какъ въ сильно разрѣженномъ воздухѣ. Въ разрѣженномъ водородѣ распространеніе звука совсѣмъ прекращается, такъ что ухо можно поднести къ самому колпаку, не слыша ударовъ молотка *).



Фиг. 181.

§ 116. Опредѣленіе скорости звука въ воздухѣ. Для опредѣленія скорости звука въ воздухѣ дѣлаютъ выстрѣлъ на извѣстномъ, строго измѣренномъ разстоя-

*) Для того чтобы звукъ могъ распространиться въ газообразной средѣ необходимо чтобы въ ней могли образоваться сжатія или разрѣженія. Двигая, напримѣръ, рукою въ воздухѣ мы заставляемъ частицы разступаться, но не образуемъ сжатыхъ или разрѣженыхъ волнъ. Въ водородѣ, при чрезвычайной подвижности его частицъ, даже быстраго движенія звучащаго тѣла недостаточно, повидимому, чтобы произвести сжатія и разрѣженія особенно если газъ въ разрѣженномъ состояніи.

ніи отъ мѣста гдѣ находится наблюдатель. Наблюдатель видитъ свѣтъ въ тотъ самый моментъ когда воспламеняется порохъ, ибо свѣтъ распространяется съ такою громадною скоростію и разстояніе нѣсколькихъ верстъ проходитъ въ такую малую долю секунды *), что время его распространенія отъ пушки до глаза наблюдателя нечего принимать въ разсчетъ. За появленіемъ свѣта чрезъ нѣкоторое время, очень замѣтное (болѣе чѣмъ чрезъ три секунды, если разстояніе болѣе версты), слышится звукъ. Опредѣливъ время, прошедшее между появленіемъ свѣта и ощущеніемъ звука, наблюдатель тѣмъ самымъ опредѣляетъ время какое употребляетъ звукъ, чтобы отъ пушки дойти до уха наблюдателя чрезъ раздѣляющее ихъ разстояніе. Раздѣливъ число метровъ, выражающихъ это разстояніе, на число секундъ, заключающихся въ измѣренномъ времени, получимъ скорость звука. Она равняется 331 метрамъ или 1100 футамъ въ секунду при 0°.

Скорость звука не зависитъ отъ давленія, подъ какимъ
находится воздухъ, но съ повышеніемъ температуры уве-
личивается. При 10° (по стоградусному термометру) она
равняется 337 метрамъ, при 15°—340 метрамъ, при 25°—346
метрамъ.

То обстоятельство что можно слушать оркестръ издали и
при этомъ мелодія не разстраивается свидѣтельствуетъ что
согласно теоріи, звуки *разнаго* напряженія и качества рас-
пространяются всѣ съ одинаковою скоростію. Это положеніе
по отношенію къ напряженію вѣрно впрочемъ лишь до из-
вѣстной степени. По новѣйшимъ изслѣдованіямъ французскаго
ученаго Реньйо, въ трубахъ, скорость звуковъ болѣе напря-
женныхъ нѣсколько значительнѣе чѣмъ менѣе напряженныхъ.

Опыты надъ опредѣленіемъ скорости звука, очень простые по основной мысли, но очень трудные въ точномъ исполненіи, были произведены очень много

---

*) Разстояніе, напримѣръ, около пяти верстъ въ одну пятидесяти восьми тысячную долю секунды.

разъ различными учеными. Наибольшею извѣстностію пользуются опыты, произведенные въ 1822 году членами Парижской Академіи Наукъ, а также опыты голландскихъ ученыхъ въ 1823 году.

Въ послѣдніе годы Реньйо произвелъ обширныя изысканія надъ скоростію распространенія звука при разныхъ условіяхъ. Опыты производились отчасти въ свободномъ воздухѣ, отчасти въ трубахъ водопроводныхъ и газопроводныхъ. Скорость въ водородѣ оказалась въ 3,8 разъ болѣе скорости въ воздухѣ, въ угольной кислотѣ она 0,8 скорости въ воздухѣ. Независимость скорости отъ давленія подтверждена опытами въ трубахъ 70 метръ длины, гдѣ давленіе было увеличено въ 5 разъ противъ атмосфернаго и въ трубкѣ 867 метровъ длиною, гдѣ оно было увеличено вдвое: скорость звука оказалась таже самая.

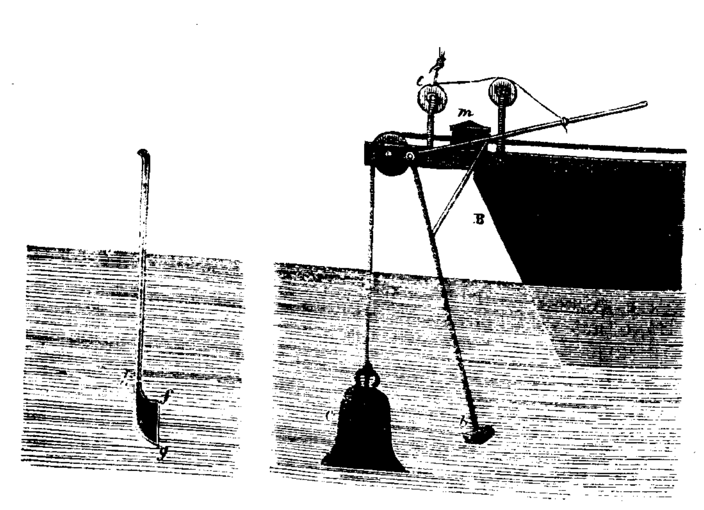
§ 117. Измѣреніе разстояній на основаніи скорости звука. Зная скорость звука, можно опредѣлить разстояніе на какомъ находится тѣло издающее звукъ. Если хотимъ узнать, напримѣръ, разстояніе на какомъ разражается гроза, то надо счесть секунды между появленіемъ молніи и ощущеніемъ грома. Если бы протекло 10″, значитъ молнія была на разстояніи около 3400 метровъ. Не имѣя часовъ съ секундами можно пользоваться ударами пульса, такъ какъ у взрослаго здороваго человѣка промежутокъ между двумя ударами пульса немного меньше секунды, именно около 7 пульсацій въ 6 секундъ.

Желая узнать глубину колодца пускаемъ камень и измѣряемъ время между моментомъ когда *видимъ* что онъ достигъ воды и моментомъ когда слышимъ звукъ.

Находясь на нѣкоторомъ разстояніи отъ человѣка ударяющаго молоткомъ, замѣчаемъ что стукъ молотка не совпадаетъ съ моментомъ удара: мы видимъ какъ молотъ опускается, ударяетъ въ наковальню, но звукъ слышимъ лишь чрезъ нѣкоторое время. Во время фейерверка бомба лопается въ высотѣ разсыпаясь звѣздочками; звукъ взрыва слышимъ лишь спустя замѣтное время. Когда идетъ длинный отрядъ, соразмѣряя шагъ по барабану, то можно замѣтить что движеніе отдаленныхъ колоннъ не совпадаетъ съ движеніемъ болѣе близкихъ къ барабану.

§ 118. Скорость звука въ водѣ. Скорость звука въ водѣ была тщательно измѣрена женевскимъ профессоромъ Колладономъ въ 1827 году помощію опытовъ на Женевскомъ озерѣ, произведенныхъ на протяженіи болѣе 13 километровъ. Колладонъ принятое имъ расположеніе опытовъ объясняетъ слѣдующимъ образомъ: „Когда ударяется тѣло помѣщенное въ водѣ на небольшой глубинѣ, то наблюдатель, находящійся внѣ воды на небольшомъ разстояніи явственно слышитъ ударъ, но если онъ удалится, оставаясь при поверхности (отъѣдетъ, напримѣръ, на

лодкѣ), то замѣтитъ быстрое уменьшеніе силы звука, такъ что на разстояніи 200 или 300 метровъ ничего не будетъ слышать, хотя бы ударъ былъ силенъ, и онъ держалъ ухо при поверхности. Но стоитъ ему погрузить голову въ воду, и онъ, на такомъ и на гораздо большемъ разстояніи, явственно услышитъ звукъ. Повидимому, лучи звука встрѣчая поверхность воды подъ острымъ угломъ не выходятъ въ воздухъ, а отражаются внутрь воды, точно такъ какъ дѣлаютъ лучи свѣта въ подобныхъ условіяхъ.. Чтобъ имѣть возможность наблюдать звукъ на значительномъ разстояніи не погружаясь въ воду, я напалъ на мысль пересѣчь волны звука вертикальною поверхностью, которая бы принимала ихъ и передавала находящемуся за нею воздуху, а чрезъ него наружу". Колладонъ опустилъ въ воду трубку изъ тонкаго листоваго желѣза, длиною въ три метра (фиг. 179); погруженное отверстіе было задѣлано листомъ и представляло собою перегородку въ которую



Фиг. 179.

ударяли звуковыя волны. Колебанія сообщались внутреннему воздуху и уху, которое прикладывалось къ отверстію *o*. Наблюдатель находившійся на лодкѣ *B* ударялъ подъ водою въ колоколъ. Въ моментъ удара стержень молотка, помощію ломанаго рычага, приводилъ горящій фитиль въ прикосновеніе съ кучкою пороха *m*. Другой наблюдатель помѣщенный на разстояніи нѣсколькихъ верстъ съ описанною трубою, опредѣ-

лялъ время между появленіемъ свѣта и ощущеніемъ звука. Оказалось что звукъ распространяется въ водѣ со скоростію 1435 метровъ въ секунду, слѣд. вчетверо скорѣе чѣмъ въ воздухѣ.

Ударъ колокола въ водѣ не похожъ на звукъ его въ воздухѣ. „Вмѣсто протяжнаго звука слышенъ рѣзкій краткій стукъ какъ бы отъ удара двухъ лезвіевъ ножей одного о другое".

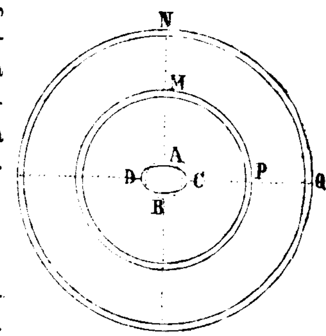
§ 119. Скорость звука въ чугунѣ. Біо производилъ опыты надъ трубою парижскаго водопровода, состоявшею изъ нѣсколькихъ сотъ отдѣльныхъ трубокъ плотно соединенныхъ и образовавшихъ каналъ, который можно было разсматривать какъ одну чугунную трубу. При концѣ ея въ отверстіе вставлялось кольцо, въ центрѣ котораго былъ укрѣпленъ колоколъ съ молоткомъ. Молотокъ, ударяя въ колоколъ, чрезъ то самое давалъ ударъ трубѣ, съ которою колоколъ чрезъ кольцо находился въ сообщеніи. На другомъ концѣ можно было, приложивъ или просто приблизивъ ухо къ трубкѣ, слышать два звука: одинъ пришедшій чрезъ металлъ, другой чрезъ воздухъ. Первый приходилъ металлическій звукъ, за нимъ воздушный. Послѣдній при длинѣ трубы въ 951 метръ приходилъ на 2,54 секундъ послѣ перваго, а такъ какъ въ воздухѣ звукъ при условіяхъ опыта проходилъ 951 метръ въ 2,8 секундъ, то слѣдовательно 0,26 секунды представляетъ время употребленное звукомъ чтобы пройдти 951 метръ въ толщѣ чугуна. И такъ скорость въ чугунѣ почти въ 11 разъ болѣе скорости въ воздухѣ и составляетъ болѣе 3600 метровъ въ секунду.

Опытами, произведенными въ воздухѣ и небольшомъ числѣ газовъ, въ водѣ и въ чугунѣ, ограничиваются *прямыя* опредѣленія скорости звука въ тѣлахъ. Но помощію изученія звуковыхъ колебаній можно *непрямымъ* путемъ опредѣлить скорость звука въ значительномъ числѣ и остальныхъ тѣлъ. Замѣтимъ что полученное этимъ путемъ число для желѣза и чугуна значительно болѣе опредѣленнаго опытами Біо именно 15 вмѣсто $10\frac{1}{2}$ сравнительно со скоростію въ воздухѣ.

§ 120. Ослабленіе звука по мѣрѣ удаленія отъ звучащаго тѣла; распространеніе въ трубахъ безъ замѣтной потери.

Движеніе сообщенное звучащимъ тѣломъ окружающему, воздуху распространяется отъ него, какъ центра, во всѣ стороны, передаваясь послѣдовательно большему и большему числу воздушныхъ частицъ и потому ослабляясь въ силѣ. Волны, проходя слой MP (фиг 180), представляютъ болѣе значитель-

ныя сжатія и разрѣженія чѣмъ когда достигаютъ концентрическаго слоя NQ, и оказываютъ потому болѣе сильное дѣйствіе на тѣло находящееся на разстояніе AM отъ источника звука чѣмъ на тѣло удаленное на болѣе значительное разстояніе AN. Другими словами, звукъ ослабѣваетъ по мѣрѣ удаленія отъ звучащаго тѣла. Такъ бываетъ при распространеніи звука въ неограниченной массѣ воздуха. Но если, какъ въ случаѣ разобранномъ въ § 110, дрожанія отъ звучащаго тѣла сообщаются воздуху заключенному въ трубѣ, то такого ослабленія не бываетъ, ибо сжатіе, а также и разрѣженіе, отъ перваго слоя передается второму, затѣмъ третьему и т. д. равной съ нимъ длины и ширины, и слѣдов. движеніе передаваемое послѣдовательно равнымъ массамъ воздуха не должно ослабѣвать въ силѣ. Нѣкоторая потеря движенія бываетъ, впрочемъ, и въ этомъ случаѣ, такъ какъ воздушные слои передаютъ часть своего движенія стѣнкамъ трубки. Такая потеря тѣмъ значительнѣе чѣмъ менѣе діаметръ трубки; въ трубкахъ довольно значительнаго діаметра она мало замѣтна даже на весьма большомъ протяженіи. Французскій ученый Біо, дѣлая въ 1809 году опыты надъ распространеніемъ звука въ длинныхъ трубахъ чинившихся тогда парижскихъ водопроводовъ, нашелъ что даже слабые звуки безъ замѣтной потери распространялись въ воздушной колоннѣ 950 метровъ длиною, такъ что было одно средство не дать себя услышать на другомъ концѣ: „не говорить вовсе". Пистолетный



Фиг. 180.

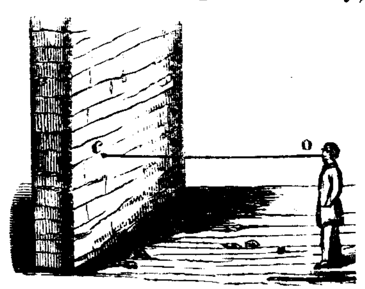
выстрѣлъ произведенный въ отверстіе трубы на одномъ ея концѣ, съ такою силою приводилъ въ движеніе воздухъ на другомъ концѣ, что приближенная рука чувствовала сильное дуновеніе, легкія тѣла уносились на полметра, свѣча задувалась. Свойствомъ трубы проводить звукъ безъ значительной потери пользуются для устройства слуховыхъ трубъ, позволяющихъ переговариваться на значительныя разстоянія, для установленія, напримѣръ, сообщенія между разными частями зданія. Не только по трубамъ, но и вдоль открытаго канала, напримѣръ вдоль жолоба образованнаго двумя пересѣкающимися досками, звукъ распространяется съ значительно меньшею утратою силы чѣмъ въ неограниченной массѣ воздуха. Въ нѣкоторыхъ зданіяхъ отъ пересѣченія двухъ сводовъ образуются такого рода каналы изъ одного угла комнаты въ другой. Наблюдатель, ставъ въ уголъ комнаты, обратившись лицомъ къ стѣнѣ, тихо произноситъ нѣсколько словъ: они явственно слышны второму наблюдателю стоящему въ другомъ углу, но не слышны въ другихъ мѣстахъ комнаты.

Есть средство и въ неограниченной массѣ воздуха передать слова на довольно значительное разстояніе. Это средство — такъ-называемая *говорная труба* или *рупоръ*. Обыкновенно это есть коническая трубка съ расширеніемъ на концѣ (фиг. 181) и отверстіемъ прилагающимся ко рту такъ что оно не мѣшаетъ движенію губъ. Рупоръ употребляется на морѣ чтобъ переговариваться на значительномъ разстояніи и передавать

Фиг. 181.

команду, несмотря на шумъ вѣтра и волнъ. Рупоръ изобрѣтенъ въ Англіи въ 1670 году кавалеромъ Морландомъ, произведшимъ рядъ опытовъ, въ присутствіи короля и двора. Трубка которой конусъ былъ болѣе полутора метра длиною дозволяла передать слова на разстояніе пяти километровъ.

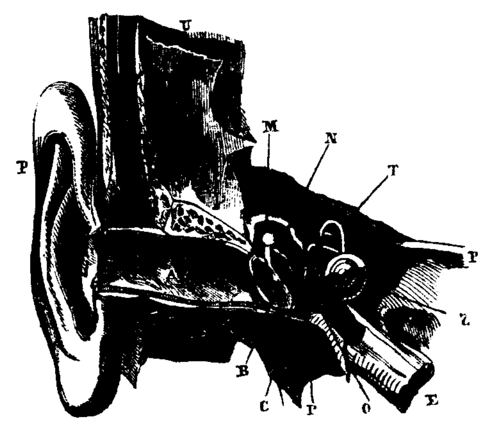
§ 121. Отраженіе звука. Эхо. Звуковая волна ударяясь въ какое-либо препятствіе, напримѣръ въ стѣну, отбрасывается отъ него или *отражается* подобно тому какъ отбрасывается шарикъ слоновой кости или каучуковый мячъ ударяющій въ стѣну, или какъ отражается лучъ свѣта падающій на зеркало. Отраженіемъ звука объясняется происхожденіе *эхо* или повторенія звука. Представимъ себѣ наблюдателя стоящаго предъ стѣною (фиг. 182) находящеюся отъ него метрахъ въ двадцати, и пусть онъ произнесетъ какое-либо односложное слово. Такое слово требуетъ для произнесенія приблизительно отъ $^1/_{10}$ до $^1/_8$ секунды; звукъ же двадцать метровъ (принимая скорость 340 метровъ въ секунду) проходитъ въ $^1/_{17}$ долю секунды, слѣдовательно возвратится къ наблюдателю чрезъ $^2/_{17}$ доли секунды (нѣсколько болѣе $^1/_9$) и будетъ слышанъ тотчасъ послѣ того какъ слогъ произнесенъ: послѣдуетъ повтореніе произнесеннаго слога или эхо. Если стѣна находится далѣе, то пройдетъ болѣе значительный промежутокъ между произнесеніемъ слога и его повтореніемъ, такъ что можно произнести нѣсколько слоговъ, даже словъ, прежде чѣмъ начнется повтореніе перваго произнесеннаго и за нимъ остальныхъ. Таково теоретическое основаніе для объясненія эхо. На практикѣ многія обстоятельства, напримѣръ,



Фиг. 182.

окружающіе отражающую стѣну предметы, осложняютъ явленіе. Въ горахъ, гдѣ представляется много отражающихъ препятствій, звуки иногда повторяются до нѣсколькихъ разъ. Стѣны комнаты, въ свою очередь, отражаютъ звуки, но такъ какъ размѣры комнаты обыкновенно незначительны сравнительно со скоростію звука, то отраженный звукъ почти сливается съ произносимымъ, что нерѣдко вредитъ внятности произносимаго. Недостатокъ этотъ ослабляется когда стѣны обтянуты чѣмъ-либо мягкимъ, способнымъ поглощать звукъ, мало его отражая, или когда зала наполнена слушателями.

§ 122. Органъ слуха. Слуховой нервъ не касается непосредственно звучащихъ тѣлъ; погруженный въ жидкость, онъ не находится въ прикосновеніи и съ воздухомъ, несущимъ толчки отъ звучащаго тѣла. Толчки эти передаются нерву черезъ весьма сложный аппаратъ составляющій нашъ *органъ слуха*, *ухо*. Органъ слуха (фиг. 183) состоитъ изъ слѣдующихъ частей:



Фиг. 183.

наружнаго уха P, слуховаго канала A, барабанной перепонки B, за которою слѣдуетъ *барабанная полость*,—

и *внутренняго уха.* Барабанная полость наполнена воздухомъ и соединяется съ полостію рта каналомъ, называемымъ евстахіевою трубой *E*, чрезъ которую устанавливается равновѣсіе давленія воздуха внутри полости со внѣшнимъ его давленіемъ. Стѣнка барабанной полости противоположная барабанной перепонкѣ имѣетъ два отверстія затянутыя перепонками; одно называется *круглымъ окномъ O*, другое *овальнымъ C*. Между барабанною перепонкою и овальнымъ окномъ перемѣщенъ рядъ косточекъ, носящихъ имена: *молоточекъ, наковальня, чечевицеобразная косточка и стремя.* Косточки эти составляютъ систему, которой одинъ конецъ (именно молоточекъ) упирается въ барабанную перепонку, а другой—стремя закрываетъ своимъ основаніемъ овальное окно. Связки соединяютъ систему косточекъ съ окружающими частями; нѣсколько маленькихъ мускуловъ позволяютъ ей съ большею или меньшею силой упираться въ барабанную перепонку и измѣнять ея натяженіе. Внутреннее ухо или *лабиринтъ* наполнено студенистою жидкостью и имѣетъ очень сложное строеніе, представляя множество извилинъ и каналовъ, выстланныхъ волокнистыми тканями. Въ немъ различаютъ *полукруглые каналы T* и *улитку S.*

Звуковыя волны, идущія въ воздухѣ отъ звучащаго тѣла, входятъ въ слуховой каналъ и даютъ толчки барабанной перепонкѣ; толчки эти чрезъ систему косточекъ передаются жидкости внутренняго уха, а чрезъ нее тонкимъ волокнамъ тканей, устилающихъ его полости и мельчайшимъ нервнымъ нитямъ соединеннымъ съ этими волокнами и составляющимъ развѣтвленіе слуховаго нерва.

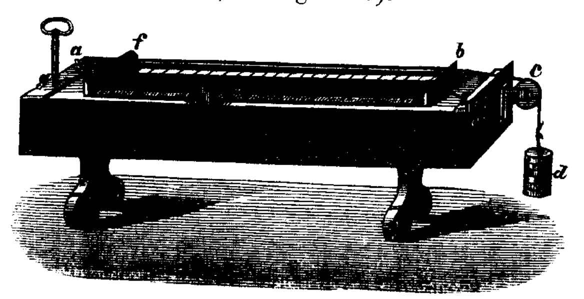
Хотя въ большинствѣ случаевъ дрожанія звучащаго тѣла достигаютъ органа слуха чрезъ воздухъ, однако можно установить сообщеніе слуховаго нерва съ звучащимъ тѣломъ и помимо воздуха, помощію, напримѣръ, твердыхъ тѣлъ.

Простая нить достаточна чтобы провести звукъ. Если два на-

блюдателя, заткнувъ уши, натянутъ нить, держа концы ея между зубами, то трогая эту нить пальцами какъ гитарную струну, они могутъ передать явственный звукъ одинъ другому. Дрожанія передадутся чрезъ нить и кости черепа. Если повѣсить серебряную ложку на нити, держа конецъ ея между зубами, то, зажавъ уши, можно слышать звукъ ударяемой ложки точно звукъ колокола. Подобнымъ образомъ слышенъ сильный и густой звукъ. когда, повѣсивъ діапазонъ на нити, протянемъ отъ ножки его другую нить, конецъ которой прикрѣпимъ къ ручкѣ съ двумя деревянными втулками и вставимъ эти втулки плотно въ уши, натягивая нить. Вмѣсто діапазона можно взять стальные каминные щипцы и вообще стальную полосу. Приложивъ ухо къ длинному шесту, можно слышать явственно ударъ булавки о другой конецъ, хотя черезъ воздухъ звукъ этого удара не слышенъ на томъ же разстояніи. Шестъ явственно передастъ звукъ, если одинъ конецъ его упирается въ звучащее тѣло, другой касается зубовъ, или иной какой твердой части головы. Дѣйствіе почти одинаково, прилагаемъ ли шестъ къ зубамъ, или къ горлу, или даже къ пуговицѣ крѣпко прижатой къ груди. Вмѣсто одного шеста можно взять нѣсколько перекладинъ, соединивъ ихъ послѣдовательно подъ разными углами. Слова передаются если, прижавъ шестъ къ металлическому, стеклянному или фарфоровому сосуду, говорящій направитъ голосъ внутрь сосуда; напряженіе сильнѣе когда говорящій касается сосуда зубами.

§ 123. Шумъ и музыкальный звукъ. Ухо различаетъ *шумъ* и *музыкальные звуки* или *тоны.* Шумъ есть смѣшеніе и неправильная послѣдовательность звуковыхъ впечатлѣній; музыкальный звукъ, напротивъ, длится правильно и однообразно. Шелестъ и вой вѣтра, плескъ воды, стукъ экипажа по мостовой суть примѣры шума; струны, органныя трубки, діапазонъ и иные инструменты издаютъ музыкальные звуки. Какъ увидимъ, впечатлѣніе музыкальнаго звука возбуждается быстрымъ *періодическимъ* сотрясеніемъ сообщаемымъ органу слуха; шумъ производится движеніемъ *неперіодическимъ.* Такъ какъ смѣшеніе музыкальныхъ звуковъ можетъ дать въ результатѣ шумъ, какъ бываетъ, напримѣръ, если ударить заразъ по клавишамъ фортепіано на протяженіи одной или двухъ октавъ, то можно заключить что музыкальный звукъ есть элементарная форма звука, шумъ—форма смѣшанная и сложная.

§ 124. Свойства музыкальнаго звука различаемыя ухомъ. Въ данномъ музыкальномъ звукѣ ухо различаетъ: 1) *напряженіе*: звукъ можетъ быть сильнѣе или слабѣе; 2) *высоту*, 3) *звучаніе* или *музыкальный оттѣнокъ* звука (timbre, Klangfarbe).



Фиг. 184.

Понятіе о *напряженіи* и *высотѣ* удобно можно получить, изучая звукъ струны укрѣпленной (фиг. 184) на ящикѣ, длину и натяженіе которой можно измѣнять (такой инструментъ именуется *сонометромъ* или, въ случаѣ одной струны, *монохордомъ*). Приведя струну въ дрожаніе, мы услышимъ музыкальный звукъ, или тонъ, который, по мѣрѣ того какъ струна приходитъ въ покой, оставаясь качественно тѣмъ же самымъ, слышится слабѣе: *напряженіе* его уменьшается. Помощію подставки укоротимъ часть струны приводимую въ дрожаніе. Услышимъ новый тонъ отличный отъ перваго. Онъ можетъ быть также слабѣе и сильнѣе, но кромѣ того онъ качественно отличенъ отъ перваго: онъ, какъ говорится, *выше* его. Чѣмъ болѣе будемъ мы укорачивать струну тѣмъ выше будетъ издаваемый ею звукъ. Можно повысить тонъ струны и не укорачивая ея: для этого достаточно увеличить грузъ который привѣшенъ на ея концѣ, или вообще натянуть ее сильнѣе.

Понятіе о *звучаніи* или оттѣнкѣ звука получаемъ про

изводя на различныхъ музыкальныхъ инструментахъ тоны одинаковой высоты, которые будутъ, какъ говорится, *въ унисонъ* между собою. Такъ, струнѣ можно дать такую длину и такое натяженіе, что она издастъ звукъ такой же высоты какъ данный діапазонъ или органная трубка. Такой же высоты тонъ можно произвести сиреной. Но эти тоны равной высоты тѣмъ не менѣе качественно будутъ различаться между собою большею или меньшею полнотой и звонкостію звука. Одинъ и тотъ же по высотѣ тонъ можетъ слѣдовательно имѣть разное *звучаніе*, разный музыкальный оттѣнокъ.

§ 125. Аккордъ; консонансъ и диссонансъ. Гамма. Когда два тона звучатъ въ одно время, то они образуютъ *аккордъ*. Соединеніе двухъ тоновъ пріятное для уха называется *консонансомъ*, непріятное для уха соединеніе двухъ тоновъ называется *диссонансомъ*.

Со древнихъ временъ, съ эпохи Пиѳагора, извѣстенъ законъ что двѣ части струны, длины которыхъ находятся между собою въ простыхъ ариѳметическихъ отношеніяхъ, издаютъ тоны соединеніе которыхъ пріятно для уха. Такъ, если, отдѣливъ отъ струны (помощію подставки, прижимающей струну такъ чтобы движеніе отъ отдѣленной части не могло сообщаться остальной струнѣ) третью долю, приведемъ эту долю и остальныя двѣ трети въ дрожаніе, то услышимъ два звука соединеніе которыхъ пріятно для уха: они образуютъ консонансъ. Въ этомъ случаѣ одна часть струны вдвое болѣе другой: тонъ издаваемый длиною равною половинѣ носитъ названіе *октавы* по отношенію къ болѣе *низкому* звуку издаваемому длиною равною единицѣ. Если поставимъ подставку на $^2/_5$ длины струны, такъ что отдѣленныя части будутъ относиться какъ $^3/_5 : {}^2/_5 = 3 : 2$, то получимъ звуки опять дающіе *консонансъ*; высшій называется *квинтою* низшаго. Если натянемъ одинаковымъ образомъ четыре струны длины которыхъ бу-

дутъ 1, $^3/_4$, $^2/_3$, $^1/_2$, то будемъ имѣть: основный тонъ, квинту, кварту и октаву, главные консонансы *гаммы*, или по буквенному обозначенію

ut, *fa*, *sol*, *ut*$_2$

Полную употребляемую въ музыкѣ гамму можно составить изъ восьми струнъ длины которыхъ и буквенное обозначеніе тоновъ суть:

C	D	E	F	G	A	H	C
ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut*
1	$^8/_9$	$^4/_5$	$^3/_4$	$^2/_3$	$^3/_5$	$^8/_{15}$	$^1/_2$

§ 126. Физическія условія отъ которыхъ зависитъ напряженіе звука. Помощію діапазоновъ всего удобное указать въ чемъ состоятъ *физическія* условія, объясняющія указанное выше (физіологическое) различеніе въ данномъ звукѣ его *напряженія* и *высоты*. Производя остріемъ, приклеенным къ звучащему діапазону, зигзаги на пластинкѣ покрытой копотью, можемъ убѣдиться что зигзаги эти имѣютъ бóльшую ширину когда діапазонъ звучитъ сильнѣе чѣмъ когда его дрожаніе и звукъ ослабѣваютъ. Между тѣмъ *число* зигзаговъ на данномъ протяженіи если движеніе пластинки произведено съ одинаковою скоростью, остается одинаковымъ при сильномъ и слабомъ звукѣ. А такъ какъ ширина зигзаговъ свидѣтельствуетъ о величинѣ размаховъ качающейся вѣтви, то заключаемъ что эта величина размаховъ качающихся частей звучащаго тѣла опредѣляетъ собою *напряженіе* звука, но не имѣетъ вліянія на продолжительность каждаго качанія (то же явленіе какъ въ случаѣ маятника) и слѣдовательно на число качаній въ данное время. Данному тону, звучитъ ли онъ сильно или слабо, соотвѣтствуетъ одинаковое число качаній въ данное время.

§ 127. Физическія условія отъ которыхъ зависитъ высота звука. Помѣстимъ на одной подставкѣ два, три или болѣе діапазоновъ снабженныхъ остріями разной длины, прилаженными такъ чтобъ ихъ кончики

приходились близко одни отъ другихъ и заразъ могли чертить зигзаги на движущейся пластинкѣ. Приведя діапазоны въ дрожаніе и двинувъ пластинку, получимъ на ней два, три и болѣе рядовъ зигзаговъ, смотря по числу діапазоновъ. Сравнивая число зигзаговъ начерченныхъ разными діапазонами на протяженіи пластинки, очевидно, получимъ сравнительное число качаній дѣлаемыхъ этими діапазонами въ равное время. Найдемъ что діапазонъ издающій болѣе *высокій* звукъ чертитъ больше зигзаговъ, и слѣдовательно дѣлаетъ большее число колебаній въ данное время, чѣмъ издающій болѣе низкій звукъ. Заключаемъ что *высота* звука обусловливается *числомъ колебаній*, какое совершаетъ звучащее тѣло въ данное время, напримѣръ, въ секунду.

Если употребленные въ опытѣ діапазоны издаютъ звуки находящіеся въ простыхъ музыкальныхъ отношеніяхъ, составляютъ, напримѣръ музыкальный рядъ изъ четырехъ нотъ: *ut*, *mi*, *sol*, *ut*, то, какъ показываетъ счетъ зигзаговъ, числа ихъ колебаній, соотвѣтствующія данному времени, находятся между собою въ весьма простыхъ отношеніяхъ. Когда первый изъ нихъ дѣлаетъ 4 колебанія, второй въ то же время дѣлаетъ ихъ пять, третій шесть, четвертый, представляющій октаву перваго,— восемь, то-есть вдвое болѣе. Вообще отношенія чиселъ колебаній, соотвѣтствующихъ нотамъ музыкальной гаммы, выражаются слѣдующею таблицей:

ut	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*ut*
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

или, приведя къ одному знаменателю,

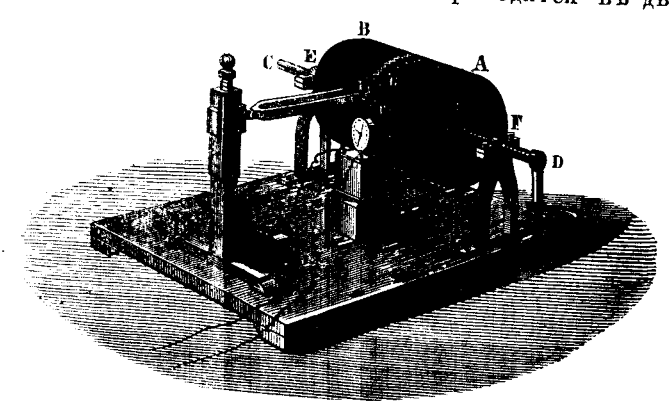
24	27	30	32	36	40	45	48

Такимъ образомъ если имѣемъ два звука, первый произвольный, второй составляющій въ музыкальномъ

отношеніи, по сужденію наблюдателя привыкшаго къ музыкальной оцѣнкѣ звуковъ, напримѣръ, октаву или квинту (*sol*) отъ перваго, то можемъ сказать что въ случаѣ октавы число колебаній втораго звука вдвое болѣе противъ перваго, а въ случаѣ *sol* три колебанія тѣла издающаго второй звукъ совершаются въ то время когда тѣло издающее первый звукъ совершаетъ ихъ два и т. д.

Прибавимъ что звуки, числа колебаній которыхъ вдвое, втрое, вчетверо болѣе чѣмъ число колебаній даннаго звука, называются по отношенію къ нему *гармоническими*. Онъ же по отношенію къ нимъ именуется *основнымъ*.

§ 128. **Опредѣленіе абсолютнаго числа колебаній, соотвѣтствующаго разнымъ звукамъ.** Описанный въ предыдущемъ параграфѣ способъ служитъ къ *сравнительному* опредѣленію числа колебаній звуковъ составляющихъ музыкальные аккорды. Чтобъ опредѣлить *абсолютное* число колебаній даннаго діапазона пользуются снарядомъ называемымъ *вибраскопъ*. Мѣдный цилиндръ (фиг. 185) на оси приводится въ дви-



Фиг. 185.

женіе рукояткой п, вращаясь, поступаетъ въ то же время вдоль оси, благодаря нарѣзанному на ней винту. Цилиндръ облекается закопченою бумагой, и остріе діапазона помѣщается такъ что во время враще-

нія цилиндра пишетъ на бумагѣ зигзаги, причемъ — благодаря поступательному движенію, какое имѣетъ цилиндръ вмѣстѣ съ вращательнымъ, — одинъ полный оборотъ зигзаговъ не смѣшивается съ другимъ, и ихъ можно винтообразно начертить весьма значительное число. Рядомъ съ діапазономъ ставится *счетчикъ*, снабженный небольшимъ остріемъ, дѣлающимъ черточки на бумагѣ. Механизмъ счетчика устроенъ такъ что остріе прикасается къ бумагѣ и дѣлаетъ свои отмѣтки чрезъ опредѣленные равные промежутки времени, напримѣръ чрезъ полъ-секунды. Число зигзаговъ, помѣщающееся на бумагѣ между каждыми двумя черточками отмѣченными остріемъ счетчика, соотвѣтствуетъ числу полныхъ колебаній какое діапазонъ дѣлаетъ въ полъ-секунды. Сочтя зигзаги на протяженіи отмѣченномъ нѣсколькими черточками, будемъ знать абсолютное число колебаній совершаемыхъ діапазономъ въ данное число полу-секундъ.

Сирена, описанная въ § 112, въ свою очередь позволяетъ опредѣлить абсолютное число импульсовъ даваемыхъ воздуху, когда она производитъ опредѣленный звукъ.

Французскій ученый, Саваръ *), приводилъ въ движеніе колесо снабженное извѣстнымъ числомъ зубцовъ, и подносилъ къ нему карту такъ что зубцы во время движенія колеса касались карты. Карта опускается пока давитъ на нее зубецъ и подымается когда онъ ее оставляетъ. При каждомъ оборотѣ колеса сколько на немъ зубцевъ столько полныхъ качаній совершаетъ карта. Зная число оборотовъ дѣлаемыхъ колесомъ въ данное время, не трудно опредѣлить число ударовъ полученныхъ картой и слѣдовательно число ея качаній производящее звукъ извѣстной высоты.

§ 129. **Звуки издаваемые разными инструментами, но находящіеся въ унисонѣ, соотвѣтствуютъ одному и тому же числу колебаній.** Если произвести звукъ *той*

*) Членъ парижской Академіи Наукъ, профессоръ въ Collège de France въ тридцатыхъ и сороковыхъ годахъ текущаго столѣтія. Извѣстенъ въ особенности акустическими изслѣдованіями и изученіемъ жидкой струи истекающей изъ сосуда.

же высоты помощію діапазона, сирены и колеса Савара и опредѣлить число звуковыхъ колебаній производимыхъ этими инструментами, то найдемъ что это число будетъ одинаково во всѣхъ трехъ случаяхъ. Это заключеніе распространяется и на всѣ вообще инструменты. Каждые два звука одинаковой высоты или, какъ это говорится, находящіеся въ *унисонѣ* соотвѣтствуютъ одинаковому числу колебаній звучащихъ тѣлъ и слѣдовательно одинаковому числу импульсовъ получаемыхъ нашимъ ухомъ.

§ 130. Физическія условія звучанія или оттѣнка звука. Импульсы, будучи одинаковы въ числѣ, могутъ, очевидно, весьма различествовать между собою, если сравнивать ихъ отдѣльно. Каждый импульсъ производимый сиреною (какъ мы уже упоминали въ § 112) не одинаковъ съ импульсомъ производимымъ діапазономъ, и тогда какъ дѣйствіе діапазона на перепонку уха представляетъ періодическую смѣну постепенныхъ усиленій давленія чередующихся съ постепенными же его ослабленіями, импульсы сирены представляютъ рядъ прерывистыхъ толчковъ. Въ этомъ причина почему звуки одинаковой высоты и слѣдовательно одинаковаго числа колебаній, но издаваемые разными инструментами, *качественно* различествуютъ *звучаніемъ*. О физіологическихъ условіяхъ этого явленія скажемъ ниже.

§ 131. Число колебаній соотвѣтствующее различнымъ звукамъ употребляемымъ въ музыкѣ. Предѣлы ощущенія звука.
Наиболѣе низкій звукъ въ оркестрѣ (*mi* контрабаса) соотвѣт-
ствуетъ приблизительно 40 полнымъ колебаніямъ въ секунду;
наиболѣе низкій въ фортепіано 32 полнымъ колебаніямъ. Наи-
болѣе высокіе звуки оркестра соотвѣтствуютъ 4000 пол-
ныхъ колебаній въ секунду. Для настраиванія инструментовъ
принято считать за *ut* такой звукъ, который дѣлаетъ 522 про-
стыхъ колебаній въ секунду, слѣдовательно за *la* прини-
мать звукъ дѣлающій 870 простыхъ колебаній въ секунду
(нормальный діапазонъ). Діапазоны употребляемые въ физиче-

скихъ кабинетахъ настроены нѣсколько ниже и дѣлаютъ обыкновенно: отмѣченные нотою ut_3—512 простыхъ колебаній въ секунду (къ этому числу приходятъ чрезъ послѣдовательное удвоеніе 1, 2, 4, 8, 16......512, то есть образуя послѣдовательныя октавы единицы). Въ такомъ случаѣ la_3 будетъ соотвѣтствовать $853^1/_3$ колебаніямъ.

Согласно Гельмгольтцу наиболѣе низкій ощущаемый нами музыкальный звукъ соотвѣтствуетъ 16 простымъ колебаніямъ въ секунду, наиболѣе высокій около 40000 простыхъ колебаній. Дрожанія внѣ этихъ предѣловъ числа колебаній нами не ощущаются какъ звукъ.

§ 132. Длина звуковыхъ волнъ. Длиною звуковой волны называется то протяженіе на какое распространяется въ воздухѣ или иной средѣ дѣйствіе звучащаго тѣла въ продолженіе одного полнаго колебанія его. Полная волна возбуждаемая дрожащимъ тѣломъ состоитъ изъ двухъ частей: одной соотвѣтствующей движенію впередъ — *сжатая* волна, другая движенію назадъ — *разрѣженная* волна (§ 110). Сколько тѣло совершаетъ колебаній въ данное время столько посылаетъ оно и волнъ въ это время. А такъ какъ звукъ распространяется равномѣрнымъ движеніемъ со скоростію около 340 метровъ въ секунду, при обыкновенной комнатной температурѣ, то въ данный моментъ на этомъ протяженіи должно находиться столько волнъ равной длины, сколько колебаній звучащее тѣло дѣлаетъ въ секунду. Потому раздѣляя скорость звука на число колебаній, найдемъ длину волны соотвѣтствующую этому звуку. Такъ звуку діапазона дѣлающаго 870 простыхъ или 435 полныхъ колебаній въ секунду соотвѣтствуетъ длина волны 340 : 435=0,781 метра; причемъ длина сжатой ея части есть половина этого числа, то-есть 0,39 метра и такая же разрѣженной. Звуку 512 простыхъ колебаній соотвѣтствуетъ длина волны 1,33 метра, и т. д. Длина звуковыхъ волнъ выходящихъ изъ рта мущины, въ случаѣ довольно низкихъ нотъ (напримѣръ 100 полныхъ колебаній въ секунду), превышаетъ 3 метра; вол-

ны женскаго голоса (стахъ при пяти полныхъ колебаній) имѣютъ длину около 0,7 или 0,6 метровъ.

Эти числа относятся къ температурѣ 15°. Въ болѣе холодномъ воздухѣ длина волнъ меньше, ибо скорость распространенія меньше (331 метръ при 0°). Длина звуковыхъ волнъ въ другихъ газахъ зависитъ отъ скорости распространенія въ нихъ звука. Такъ скорость въ водородѣ почти въ четыре раза болѣе чѣмъ въ воздухѣ, а потому и длина волнъ соотвѣтствующихъ тому же числу колебаній, т.-е. тому же звуку, вчетверо значительнѣе. Въ чугунѣ скорость въ 11 почти разъ болѣе чѣмъ въ воздухѣ, во столько же разъ длиннѣе и волны соотвѣтствующія тому же звуку.

Ящикъ закрытый съ одной стороны и усиливающій данный звукъ (§ 113) долженъ имѣть длину близкую 1/4 длины полной волны этого звука. Если ящикъ открыть съ обѣихъ сторонъ, то онъ усиливаетъ данный звукъ если составляетъ около 1/2 длины звуковой волны.

§ 133. Звуковыя волны одновременно идущія въ воздухѣ не мѣшаютъ распространенію однѣ другимъ; состояніе воздуха въ мѣстахъ пересѣченія волнъ; интерференція звука.
Гельмгольтцъ объ этомъ предметѣ говоритъ слѣдующимъ образомъ: „То простое обстоятельство, что когда заразъ говорятъ нѣсколько человѣкъ мы тѣмъ не менѣе можемъ по произволу прислушиваться къ словамъ того или другаго, если только они не очень заглушаются остальными звуками, свидѣтельствуетъ: вопервыхъ. что многія различныя звуковыя волны могутъ пробѣгать чрезъ то же воздушное пространство, не мѣшая однѣ другимъ, и вовторыхъ, что человѣческое ухо имѣетъ способность сложныя воздушныя движенія, производимыя многими заразъ дѣйствующими звучащими предметами, вновь разлагать въ нашемъ ощущеніи на составныя части. О возможности прохожденія безъ взаимнаго замѣшательства чрезъ одно и то же мѣсто многихъ колебательныхъ движеній всего нагляднѣе можно получить понятіе, наблюдая движеніе многихъ волнъ на водяной поверхности; смотря напримѣръ съ высокаго берега на поверхность моря, когда оно послѣ сильнаго вѣтра начинаетъ успокоиваться. Тогда видны большіе валы бѣгущіе, изъ синей какъ сталь дали, длинными вытянутыми полосами, тамъ и сямъ особенно рѣзко обозначающимися своими пѣнистыми гребнями и въ правильныхъ разстояніяхъ слѣдующими одни за другими, направляясь къ берегу. У берега они отражаются въ разныхъ направленіяхъ, смотря по его очертанію, такъ что приходящія волны вкось перекрещиваются отраженными. Мимоѣдущій паровозъ бороздитъ воду, оставляя волнообразный слѣдъ; птица хватающая съ налета рыбу возбуждаетъ на водной поверхности маленькія круглыя кольца. Но глазъ наблюдателя легко можетъ отдѣльно слѣдить за всѣми этими различными волнами, большими и малыми, широ-

кими и узкими, прямыми и скривленными, и видитъ какъ, не смѣшиваясь, бѣгутъ онѣ на водной поверхности каждая сама по себѣ, какъ будто не было въ то же время на поверхности воды другихъ движеній и силъ. Признаюсь что, вглядываясь внимательно въ это зрѣлище, я всегда чувствовалъ особаго рода умственное наслажденіе, ибо здѣсь тѣлесному глазу представляется то что для волнъ невидимаго воздушнаго моря можетъ сдѣлать яснымъ духовному глазу ума лишь длинный рядъ сложныхъ заключеній. Совершенно подобное зрѣлище должны мы представлять себѣ внутри, напримѣръ, танцовальной залы. Мы имѣемъ тамъ музыкальные инструменты, говорящихъ людей, шелестящія платья, скользящія ноги, звучащіе стаканы и т. д. Все это возбуждаетъ волны бѣгущія чрезъ воздушное пространство залы, отражающіяся отъ ея стѣнъ, возвращающіяся, вновь встрѣчающія стѣну, вновь отражающіяся, и такъ далѣе до истощенія. Не забудемъ что изо рта мущинъ и отъ болѣе низкихъ музыкальныхъ инструментовъ идутъ длинныя волны въ 8 или 12 футовъ длиною, изо устъ женщинъ короткія въ 2 или 4 фута длиною, шелестъ платья производитъ тонкія струйки волнъ, словомъ происходитъ невообразимо сложное пересѣченіе самыхъ разнообразныхъ движеній. И однако ухо въ состояніи отдѣлить однѣ отъ другихъ составныя части этого столь запутаннаго цѣлаго... Въ случаѣ водяныхъ волнъ возвышеніе водяной поверхности въ каждомъ пунктѣ въ данный моментъ равняется суммѣ *) тѣхъ возвышеній какія въ томъ мѣстѣ и въ тотъ моментъ произвели бы отдѣльныя системы волнъ. Подобнымъ образомъ когда въ данномъ воздушномъ пространствѣ проходятъ многія системы звуковыхъ волнъ,—то перемѣны плотности воздуха, передвиженія и скорости воздушныхъ частицъ внутри слуховаго органа равняются суммѣ тѣхъ перемѣнъ плотности, передвиженій и скоростей, какія произвели бы порознь взятыя, отдѣльныя системы звуковыхъ волнъ.“

Не мѣшая *распространенію* однѣ другимъ, звуковыя волны могутъ *въ данномъ пунктѣ* уничтожать однѣ *дѣйствіе* другихъ. Звукъ можетъ уничтожаться звукомъ. Такое явленіе называется *интерференціей звука*. Представимъ себѣ два одинаковыхъ звучащихъ тѣла, посылающихъ сжатыя и разрѣженныя звуковыя волны. Пусть ухо наблюдателя находится въ томъ мѣстѣ, гдѣ въ данный моментъ проходитъ сжатая волна отъ перваго тѣла и разрѣженная отъ втораго. Если сжатіе приносимое первою волною равно разрѣженію приносимому второю, то они, согласно указанному правилу, должны уничто-

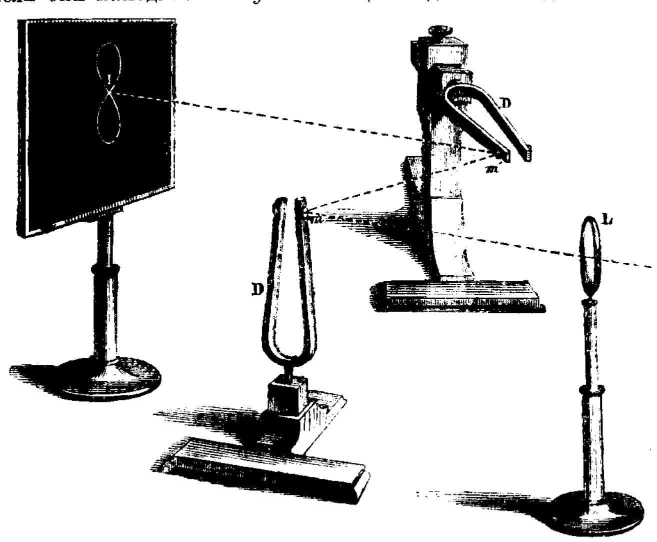
---

*) Подразумѣвается: суммѣ алгебраической, т.-е. въ которой возвышенія считаются положительными, пониженія отрицательными величинами, такъ что возвышеніе вмѣстѣ съ равнымъ пониженіемъ даетъ въ суммѣ нуль.

житься взаимно, и воздухъ долженъ остаться въ нормальномъ состояніи. Въ слѣдующій моментъ чрезъ то же мѣсто пройдетъ разрѣженная волна отъ перваго тѣла и сжатая отъ втораго, опять взаимно уничтожающіяся. Воздухъ слѣдовательно постоянно останется въ нормальномъ состояніи, и одинъ звукъ уничтожится или по крайней мѣрѣ ослабится дѣйствіемъ другаго. Такъ, если держать предъ ухомъ за ножку звучащій діапазонъ и поворачивать его около вертикальной оси, то замѣтимъ поперемѣнно то усиленіе, то ослабленіе звука. Двѣ вѣтви діапазона представляютъ тобою два одинаковыхъ центра звука. Когда эти центры на одинаковомъ разстояніи отъ уха, то одинъ усиливаетъ дѣйствіе другаго; при другомъ положеніи бываютъ случаи, когда одинъ ослабляетъ дѣйствіе другаго. Подобнымъ образомъ, когда на общемъ поддувалѣ небольшихъ размѣровъ стоятъ двѣ одинаковыя органныя трубки, то воздушный потокъ распредѣляется обыкновенно такъ, что когда одна трубка посылаетъ въ воздухъ сжатую волну, то другая шлетъ разрѣженную. Давъ обѣимъ трубамъ звучать въ одно время, замѣтимъ что звукъ будетъ значительно слабѣе, чѣмъ когда онѣ звучатъ отдѣльно.

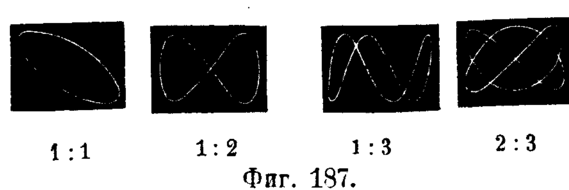
§ 134. Сравненіе діапазоновъ помощію оптическаго изученія звуковыхъ колебаній: опыты Лиссажу. Сравненіе дрожаній двухъ діапазоновъ дающихъ музыкальный аккордъ и повѣрка того даютъ ли они аккордъ въ полной строгости,—о чемъ ухо позволяетъ судить лишь приблизительно,—дѣлается, кромѣ методы одновременнаго черченія зигзаговъ, помощію такъ-называемаго оптическаго изученія звуковыхъ колебаній. Метода эта изобрѣтенная въ пятидесятыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія французскимъ ученымъ Лиссажу, въ главныхъ своихъ основаніяхъ состоитъ въ слѣдующемъ. Чрезъ небольшое круглое отверстіе впускаютъ лучъ свѣта; лучъ этотъ когда падаетъ прямо на экранъ, образуетъ на немъ небольшое пятно, которому можно дать круглое очертаніе, если пропустить лучъ чрезъ собирающее стекло L (фиг. 186). Но прежде чѣмъ лучъ достигнетъ экрана, его принимаютъ на небольшое зеркало придѣланное къ діапазону; отраженный лучъ принимается зеркаломъ втораго діапазона поставленнаго такъ что плоскость проходящая чрезъ его вѣтви перпендикулярна къ плоскости вѣтвей перваго діапазона; послѣ этого вторичнаго отраженія лучъ падаетъ на экранъ образуя свѣтлое круглое пятно. Если приведемъ въ дрожаніе первый діапазонъ, то пятно вслѣдствіе колебанія зеркала этого діапазона, (при расположеніи снаряда представленномъ на чертежѣ) получитъ быстрое вертикальное движеніе взадъ и впередъ и представится въ видѣ вертикальной свѣтлой полосы. Если прекративъ дрожаніе перваго діапазона, заставимъ дрожать второй, то пятно будетъ имѣть горизонтальное движеніе и приметъ видъ горизонтальной полосы. Если, потомъ, приведемъ въ дрожаніе одновременно оба діапазона, то пятно, побуждаемое двигаться заразъ въ вертикальномъ и горизонталь-

номъ направленіи, опишетъ фигуру, видъ которой будетъ зависѣть отъ отношенія числа колебаній двухъ діапазоновъ. Если они находятся въ *унисонѣ* (т.-е. дѣлаютъ одно и то же



Фиг. 186.

число качаній), полученная фигура будетъ или кругъ, или эллипсисъ, или прямая линія; если діапазоны будутъ въ отношеніи октавы, то получится фигура въ родѣ цифры 8. Если діапазоны настроены точно, фигура, по мѣрѣ ослабленія дрожаній, сокращается въ размѣрахъ не измѣняя вида и положенія; если хотя немного разстроимъ діапазоны, приклеивъ, напримѣръ, воскомъ къ одному изъ нихъ небольшую металлическую массу, фигура получаетъ явственныя періодическія измѣненія и какъ бы вращается около оси. Четыре фигуры изображенныя на чертежѣ 187 соотвѣтствуютъ первая унисону, вторая октавѣ, третья отношенію числа колебаній 1 : 3, четвертая квинтѣ 2 : 3. Объ отношеніи можно судить по числу прикосновеній къ фигурѣ прямыхъ линій, одной проведенной



Фиг. 187.

вертикально, другой горизонтально. Явленіе представляется еще отчетливѣе если вмѣсто того чтобы пролагать лучъ на экранъ, смотримъ прямо въ зеркало втораго діапазона, снабдивъ глазъ зрительною трубкою. Собирающее стекло L тогда не нужно.

На практикѣ метода эта прилагается къ устройству діапазоновъ, числа колебаній которыхъ находились бы въ математически точныхъ отношеніяхъ.

§ 135. Колебанія струны; колебаніе цѣлой длиной. Изслѣдованіе колебаній струны ведетъ въ заключенію что, при томъ же натяженіи, число ея колебаній зависитъ отъ ея длины, именно что оно *обратно пропорціонально длинѣ*. Этимъ объясняется таблица длинъ струны, соотвѣтствующихъ нотамъ гаммы, приведенная въ § 125 и указавшая съ давнихъ временъ что звуки, составляющіе музыкальные консонансы, находятся въ весьма простыхъ числовыхъ отношеніяхъ *).

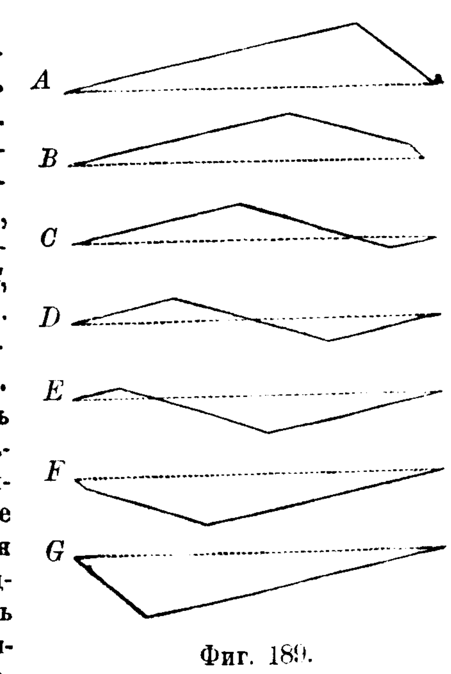
Колебанія струны происходятъ различнымъ образомъ смотря по тому какъ она приведена въ движеніе. Фиг. 188 представляетъ простѣйшій случай, когда

Фиг. 188.

струна, будучи выведена изъ положенія равновѣсія, качается такъ что средина ея дѣлаетъ наибольшіе размахи. Струны въ музыкальныхъ инструментахъ, приводимые въ движеніе пальцами въ случаѣ гитары, смычкомъ въ случаѣ скрипки, молоточкомъ покрытымъ замшей и ударяющимъ не въ средину струны, а близко къ ея краю, въ случаѣ фортепіано, — совершаютъ болѣе сложныя колебанія. Фиг. 189

*) „Музыка, по выраженію знаменитаго философа конца XVII и начала XVIII вѣка, Лейбница, есть „тайное и безсознательное упражненіе души въ ариѳметикѣ“. „Musica est exercitium arithmeticae occultum nescientis se numerare animi“.

изображаетъ, согласно изслѣдованіямъ Гельмгольтца, видъ какой въ послѣдовательные моменты принимаетъ струна выведенная изъ положенія равновѣсія остріемъ (какъ въ цитрѣ). Струна послѣдовательно принимаетъ формы A, B, C, D, E, F, G, потомъ обратно F, E, D, C, B, A, и т. д.

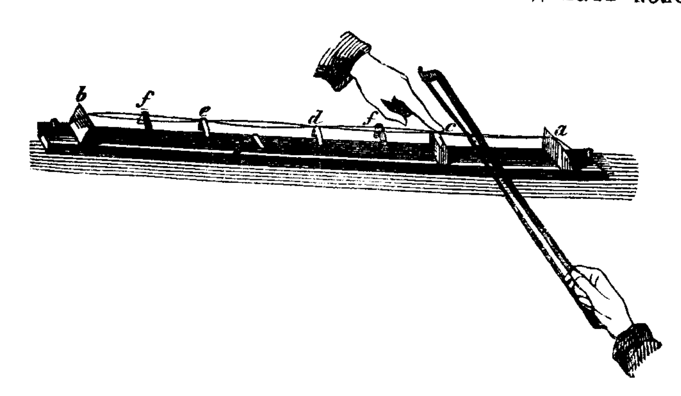


Фиг. 189.

§ 136. Колебаніе струны частями. Если раздѣлить струну на двѣ части такъ чтобы движеніе отъ одной не могло передаваться другой, то, очевидно, будемъ имѣть двѣ струны, числа колебаній которыхъ будутъ обратно пропорціональны ихъ длинамъ; каждая будетъ издавать *свой* звукъ. Но если мы отдѣлимъ отъ струны часть, напримѣръ четвертую, такъ что между ею и остальною частью не вполнѣ прекратится сообщеніе, если, напримѣръ, при c приложимъ палецъ (фиг. 190) къ слабо подпирающей подставкѣ, то явленіе будетъ иное. Обѣ части издадутъ звукъ *одинаковой* высоты, соотвѣтствующей меньшей изъ нихъ. Совёръ *), замѣтившій это явленіе заключилъ, что

*) Французскій ученый, родился въ Ла-Флешѣ въ 1653 году, былъ до восьми лѣтъ нѣмъ и всю жизнь косноязыченъ. Съ юнаго возраста оказывалъ особую склонность къ механикѣ;

„такъ какъ $^3/_4$ струны издаютъ тотъ же звукъ какъ $^1/_4$, то, очевидно, что бо́льшая часть не можетъ дѣлать коле-



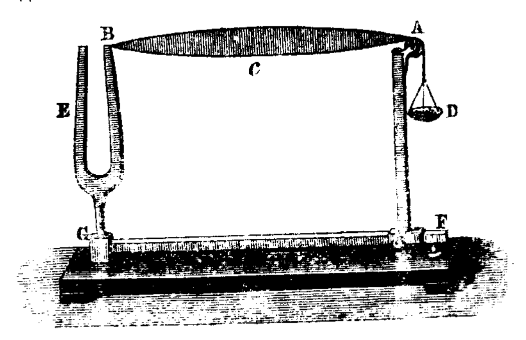
Фиг. 190.

банія сообразныя ея длинѣ, а должна раздѣлиться на три части, равныя каждая отдѣленной четверти и колеблющіяся отдѣльно; между такими отдѣльно колеблющимися частями должны быть неподвижныя точки.“ Такія точки Совёръ назвалъ *узлами* (noeuds), мѣста же наибольшаго колебанія *валами* (ventres). Когда Совёръ сообщилъ свои опыты своимъ сочленамъ по Парижской Академіи Наукъ, нѣкоторые вспомнили что подобный опытъ описанъ въ мемуарѣ англійскаго ученаго Валлиса (въ 1677 году). Заключеніе же объ узлахъ было повѣрено слѣдующимъ образомъ (*Исторія Академіи* за 1701 годъ): „въ тѣхъ точкахъ гдѣ, по предположенію, должны быть узлы и валы были насажены маленькіе согнутые кусочки бумаги, долженствовавшіе упасть при малѣйшемъ движеніи. Струну привели въ колеба-

учился физикѣ и математикѣ въ Парижѣ, куда пришелъ пѣш-
комъ. Сдѣлавшись (1696) членомъ Академія Наукъ предался из-
слѣдованію музыкальной акустики, хотя не обладалъ вѣрнымъ
слухомъ. Умеръ въ 1716 году.

ніе и замѣтили съ большимъ удовольствіемъ и даже удивленіемъ что бумажки бывшія на валахъ тотчасъ упали, на узлахъ же остались“.

Привести струну въ колебаніе цѣлою длиной или отдѣльными частями можно также прикрѣпивъ ее однимъ концомъ къ вѣтви діапазона (Фиг. 191), натянувъ другой съ опредѣлен-



Фиг. 101.

ною силой, помощію, напримѣръ, привѣшеннаго груза, и проводя смычкомъ по діапазону. При извѣстномъ натяженіи, струна приметъ видъ изображенный на чертежѣ; ослабляя натяженіе можно заставить струну колебаться, разбившись на двѣ, на три и т. д. отдѣльныя части, какъ бы на отдѣльныя струны, раздѣленныя узлами.

§ 137. Гармоническіе звуки сопровождающіе преобладающій основной звукъ. Совёръ сдѣлалъ слѣдующее важное наблюденіе. „Если, говоритъ онъ, тронувъ пальцами, приведемъ въ дрожаніе струну клавикордъ, то, кромѣ основнаго звука, тонкое и опытное ухо слышитъ другіе звуки болѣе высокіе чѣмъ основный“, а именно звуки *гармоническіе* по отношенію къ преобладающему основному, то-есть такіе число колебаній которыхъ вдвое, втрое, вчетверо и т. д. болѣе числа колебаній основнаго (§ 127). Это явленіе не исключительно свойственно струнѣ. Изслѣдованія Гельмгольтца въ новѣйшее время показали что бо́льшая часть звуковъ издаваемыхъ музыкальными инструментами сопровождаются гармоническими тонами и что музыкальный звукъ вообще есть обыкновенно совокупность основнаго тона съ бо́льшимъ или меньшимъ числомъ гармоническихъ, участвующихъ въ общемъ звучаніи, въ разныхъ случаяхъ, въ разномъ числѣ и съ разною силою. Мы потому не замѣчаемъ этихъ верхнихъ тоновъ сопровождающихъ основной тонъ, что не привыкли обращать вниманіе на это обстоятельство. Но помощію *резонаторовъ* легко изъ общей суммы звуковъ, составля-

ющихъ данный музыкальный звукъ, выдѣлить составныя гармоническія части. Пусть основный тонъ соотвѣтствуетъ n колебаніямъ; возьмемъ рядъ резонаторовъ способныхъ усиливать звуки соотвѣтствующіе $2n$, $3n$, $4n$ колебаній. Прилагая ихъ послѣдовательно къ уху, узнаемъ какіе гармоническіе тоны и съ какою силою сопровождаютъ данный тонъ. Извлечемъ тотъ же тонъ на другомъ инструментѣ. Вновь прибѣгнувъ къ резонаторамъ, узнаемъ какіе гармоническіе и въ какой силѣ сопровождаютъ этотъ тонъ и можемъ убѣдиться что разница въ *звучаніи* или *музыкальномъ оттѣнкѣ* звука обусловливается именно присутствіемъ гармоническихъ тоновъ въ разномъ числѣ и разной силы. Обнаружить въ звукѣ струны присутствіе гармоническихъ тоновъ можно также слѣдующимъ пріемомъ, употребленнымъ знаменитымъ англійскимъ ученымъ начала нынѣшняго столѣтія Юнгомъ (Young). Если въ то время какъ струна звучитъ (будучи, напримѣръ, приведена въ дрожаніе ударомъ молоточка на нѣкоторомъ разстояніи отъ одного изъ концовъ), приложимъ къ срединѣ ея перо или иное легкое препятствіе, то основный тонъ (какъ соотвѣтствующій колебаніямъ цѣлой струны теперь невозможнымъ) замретъ, но октава и вообще тоны для которыхъ средина струны есть узелъ будутъ слышны. Если приложимъ перо на трети струны, то останутся звуки для которыхъ узлы на третяхъ струны и т. д. Бываютъ случаи когда высшіе тоны, сопровождающіе основный, суть по отношенію къ нему *негармоническіе*. Напримѣръ, если привести діапазонъ въ дрожаніе ударомъ, то вмѣстѣ съ основнымъ тономъ, слышимъ рѣзкіе верхніе негармоническіе тоны, скоро замирающіе. Но подобные тоны не сливаются съ основнымъ въ одинъ музыкальный звукъ.

§ 138. Тоны простые и сложные; составъ сложнаго тона изъ простыхъ. Тонъ который не сопровождается высшими гармоническими, называется *простымъ*. Изслѣдованія Ома и Гельмгольтца показали что слои воздуха, передающіе такой тонъ, колеблятся по закону маятника. Звуковая волна, распространяющаяся вслѣдствіе того что воздушные слои пріобрѣтаютъ и послѣдовательно передаютъ одинъ другому качанія свершающіяся по закону маятника, называется *простою* волною. Такія волны возбуждаются, напримѣръ, діапазономъ снабженнымъ усиливающимъ звукъ ящикомъ. Всякая иная волна называется *сложною*. Импульсъ, какой простая волна производитъ на тѣло котораго достигаетъ, есть *простой* импульсъ въ противуположность *сложному*, производимому волной, въ которой смѣна давленій, въ продолженіе импульса, слѣдуетъ другому закону. Согласно этому опредѣленію, *простой тонъ* есть, слѣдовательно, ощущеніе возбуждаемое въ ухѣ періодическою послѣдовательностію простыхъ импульсовъ; *сложный* тонъ или музыкальный звукъ вообще (Klang) есть ощущеніе, возбуждаемое послѣдо-

вательностію сложныхъ импульсовъ *). Математическое изслѣдованіе предмета показываетъ что каждую сложную волну можно теоретически разсматривать какъ совокупность совмѣстно идущихъ простыхъ гармоническихъ волнъ, то есть такихъ длины которыхъ, сравнительно съ первою изъ нихъ, суть $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$ и т. д. Математическая теорія подтверждается опытами доказывающими что, возбудивъ въ воздухѣ одновременно рядъ простыхъ гармоническихъ волнъ, можно чрезъ ихъ совокупное дѣйствіе произвести самые разнообразные сложные тоны. Гельмгольтцъ доказалъ что, заставляя одновременно звучать рядъ діапазоновъ дающихъ простые тоны, можно воспроизвести звуки съ самымъ сложнымъ звучаніемъ, какъ напримѣръ тѣ оттѣнки звучанія, какіе слышатся когда одну и ту же ноту мы поемъ на разныя гласныя буквы *а, е, і, о, у*.

Слѣдующій опытъ даетъ понятіе о сліяніи нѣсколькихъ гармоническихъ тоновъ въ одинъ тонъ звучащій нераздѣльно. На ящикѣ весьма большаго діапазона ставится рядъ малыхъ соотвѣтствующихъ четыремъ, пяти или болѣе его гармоническимъ тонамъ. Смычкомъ всѣ одновременно приводятся въ дрожаніе. Ухо слышитъ одинъ полный звукъ. Но если прекратить звукъ большаго діапазона, тотчасъ послышатся звуки остальныхъ болѣе или менѣе раздѣльно.

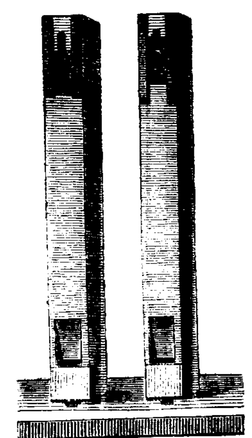
Приведенные въ предыдущемъ параграфѣ опыты Совѣра и Гельмгольтца доказываютъ что ухо *ощущаетъ лишь простые тоны* и когда на него дѣйствуетъ сложная волна, то оно разлагаетъ ея импульсъ на простые импульсы соотвѣтственно простымъ волнамъ, изъ которыхъ *теоретически* можетъ представить себѣ состоящею эту сложную волну. Объясненіе этого факта и вообще *теорія слуха* основывается, согласно Гельмгольтцу, на явленіи *созвучія*.

§ 139. Явленіе созвучія какъ основаніе теоріи слуха. Извѣстно что помощію весьма слабыхъ толчковъ, если только производить ихъ періодически чрезъ опредѣленные промежутки, можно раскачать весьма большую массу. Если, напримѣръ, дергать за веревку привѣшенную къ тяжелому языку весьма большаго колокола чрезъ промежутки времени *равные періоду качанія* языка, то сообщаемые слабые импульсы будутъ дѣйствовать согласно; языкъ въ началѣ получитъ очень малый размахъ, но такъ какъ размахъ этотъ будетъ непрерывно уве-

*) Простота импульса акустическая, очевидно, есть понятіе иное отъ простоты механической. Рядъ прерывистыхъ толчковъ производимыхъ сиреною, въ механическомъ смыслѣ, столь же простое явленіе какъ рядъ постепенныхъ сжатій и разрѣженій посылаемыхъ вѣтвями діапазона, но въ акустическомъ отношеніи импульсы сирены возбуждаютъ сложное ощущеніе, и тонъ ея состоитъ изъ основнаго въ соединеніи съ верхними гармоническими, далеко отстоящими отъ основнаго.

личиваться при каждомъ импульсѣ, то мало-по-малу языкъ сильно раскачается. Подобное явленіе бываетъ когда слабые импульсы звуковыхъ волнъ ударяются въ тѣло, періодъ качанія котораго равенъ періоду ударяющей волны. Такъ, если поставить на нѣкоторомъ разстояніи двѣ струны настроенныя въ унисонѣ и привести одну изъ нихъ въ дрожаніе, то другая сама собою придетъ въ созвучное дрожаніе, вслѣдствіе слабыхъ толчковъ сообщаемыхъ ей чрезъ воздухъ и твердыя части и повторяющихся чрезъ промежутки времени равные періоду ея собственныхъ качаній. Такимъ же образомъ если вблизи фортепіанной деки съ натянутыми на ней струнами издать какой-нибудь звукъ, то онъ приведетъ въ созвучное дрожаніе ту изъ струнъ которая настроена съ нимъ въ унисонъ, въ чемъ можно убѣдиться, насадивъ на струнѣ согнутыя бумажки (§ 136): онѣ будутъ сброшены. При этомъ если издаваемый тонъ есть тонъ сложный, то-есть такой который можно разсматривать состоящимъ изъ основнаго + гармоническіе, то въ созвучное дрожаніе придутъ какъ струна настроенная въ унисонъ съ основнымъ звукомъ, такъ и струны настроенныя въ унисонъ съ сопровождающими его гармоническими тонами. Струны деки такимъ образомъ *физически* разлагаютъ сложное колебаніе на составныя части какія усматриваетъ въ немъ *математическая* теорія. Еслибы мы вообразили себѣ каждую струну снабженною нервною нитью способною раздражаться когда струна дрожитъ и передавать ощущеніе въ мозгъ, то имѣли бы близкое подобіе слуховаго аппарата, согласно ученію Гельмгольтца. Полость внутренняго уха выслана волокнистою тканью; волокна ея, однѣ натянутыя какъ струны, другія укрѣпленныя однимъ концомъ и свободныя на другомъ представляютъ собою какъ бы тончайшія струны и палочки, способныя дрожать въ унисонѣ съ различными простыми тонами. Волокна эти находятся въ сообщеніи съ нервными нитями. Звучащее тѣло приводитъ въ созвучное дрожаніе тѣ волокна уха которыя способны колебаться съ нимъ въ унисонѣ. Дрожаніе это раздражаетъ соотвѣтствующія нервныя нити и такимъ образомъ дѣйствуетъ на слуховой нервъ, производя ощущеніе звука. Такъ какъ волокна чрезвычайно разнообразны по величинѣ и упругости, то для самыхъ разнообразныхъ простыхъ тоновъ и составленныхъ изъ нихъ сложныхъ есть созвучные элементы въ органѣ слуха. Сложный тонъ разлагается ухомъ на простые точно также какъ разлагается онъ струнами фортепіанной деки, и мы ощущаемъ его какъ совокупность простыхъ гармоническихъ тоновъ.

§ 140. Біенія. Гельмгольтцево рѣшеніе вопроса о причинахъ консонанса и диссонанса тоновъ. Когда одновременно звучатъ два тона, числа качаній которыхъ только *приблизительно* одинаковы, такъ что они не даютъ строгаго унисона, то ухо ощущаетъ послѣдовательно усиленія и ослабленія звука называемыя *біеніями* (battements, Schwebungen). Опытъ показываетъ, что если разность въ числѣ колебаній въ секунду есть *n*, то слышится въ секунду *n* біеній. Біенія удобно можно наблюдать на двухъ одинаковыхъ діапазонахъ, если ихъ слегка разстроить; тогда если одинъ дѣлаетъ, напримѣръ, 256 полныхъ колебаній въ секунду, а другой 252, то будутъ слышны 4 біенія въ секунду. Біенія слышны съ особенною силой если (фиг. 192), — установивъ неодинаковымъ образомъ дощечки закрывающія сдѣланныя вверху боковыя отверстія двухъ одинаковыхъ органныхъ трубокъ, — разстроимъ ихъ согласіе.



Фиг. 192.

Когда разность въ числѣ колебаній увеличивается, біенія становится чаще и чаще, ухо перестаетъ ощущать ихъ въ отдѣльности, и они сливаются въ одно ощущеніе придающее общему тону непріятную неровность. Слуховой нервъ испытываетъ прерывистое возбужденіе которое непріятно какъ непріятенъ мерцающій свѣтъ, дѣйствіе шероховатаго тѣла на кожу и т. под. Гельмгольтцъ убѣдился изъ своихъ изслѣдованій что ощущеніе достигаетъ высшей степени непріятности когда число біеній (въ среднихъ тонахъ музыкальной скалы) бываетъ около 30 въ секунду. Когда ихъ большее число, непріятность ощущенія уменьшается; когда число ихъ перейдетъ за 130, вліяніе ихъ перестаетъ быть замѣтнымъ. Потому, чтобы судить составляютъ ли два данные музыкальные звука консонансъ или диссонансъ, надо сравнить числа колебаній тоновъ, основныхъ и гармоническихъ изъ которыхъ состоятъ эти звуки, и смотрѣть нѣтъ ли звуковъ дающихъ біенія въ такомъ числѣ, которое обусловливаетъ непріятность ощущенія. Октава есть совершеннѣйшій изъ консонансовъ, ибо если сложный тонъ B составляетъ октаву сложнаго тона A, то основный звукъ тона B совпадаетъ съ первымъ гармоническимъ тона A; первый гармоническій B съ третьимъ гармоническимъ A и т. д., и между каждою парою звуковъ (положивъ, напримѣръ, что основный звукъ A дѣлаетъ 256 колебаній) разность въ числѣ колебаній будетъ слишкомъ значительна чтобы дать непріятныя біенія.

ОТДѢЛЪ ТРЕТІЙ

ТЕПЛО И СВѢТЪ.

§ 141. Ощущеніе тепла и свѣта. Для воспринятія дѣйствія на наше тѣло нагрѣтыхъ тѣлъ мы не имѣемъ особаго органа, который бы по отношенію къ теплу игралъ такую роль какъ ухо по отношенію къ звуку. Мы пользуемся чувствомъ осязанія чтобы различать теплыя и холодныя тѣла, причемъ тѣла эти дѣйствуютъ на нервы нашей кожи не только непосредственно касаясь ея, но и на разстояніи, какъ солнце, очагъ, принесенное съ мороза сильно охлажденное тѣло и т. д. Если, впрочемъ, тѣло сильно нагрѣто, то мы узнаемъ о его присутствіи не только по ощущенію тепла принимаемому оболочкою нашего тѣла, но и по ощущенію *свѣта* принимаемому особымъ органомъ *глазомъ*, играющимъ по отношенію къ свѣту такую же роль какъ ухо по отношенію къ звуку. Какъ увидимъ, два эти дѣйствія, нагрѣвающее и освѣщающее, повидимому совершенно различныя, зависятъ отъ одной и той же причины: явленіе которое вообще производитъ нагрѣваніе, при нѣкоторыхъ условіяхъ, способно кромѣ того дѣйствовать на зрительный нервъ и въ такомъ случаѣ ощущается нами какъ свѣтъ.

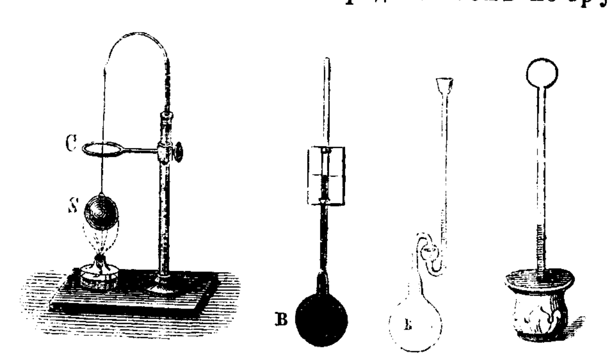
Сужденіе о степени нагрѣтости тѣла, основанное на чувствѣ осязанія, весьма не точно, такъ какъ наша кожа, для различенія степеней тепла, есть инструментъ мало чувствительный и нерѣдко ведущій къ

ошибочнымъ заключеніямъ. Если, напримѣръ, опустить палецъ одной руки въ стаканъ съ нагрѣтою водой, палецъ другой руки въ стаканъ съ холодною водою и потомъ перенести оба пальца въ одинъ стаканъ съ водой обыкновенной комнатной теплоты, то вода эта покажется холодною для пальца вынутаго изъ нагрѣтаго сосуда и теплою для пальца бывшаго въ холодной водѣ. Одинаково нагрѣтые кусокъ металла и кусокъ дерева кажутся намъ имѣющими не одинаковую степень тепла. Вообще мы судимъ о термическомъ состояніи внѣшнихъ предметовъ по сравненію съ термическимъ состояніемъ нашего тѣла. Вслѣдствіе этого мы различаемъ ощущеніе *тепла и холода*, хотя холодъ не есть самостоятельное явленіе, а только меньшая степень тепла.

I. Дѣйствія тепла на тѣла не сопровождающіяся измѣненіемъ ихъ состоянія.

§ 142. Расширеніе тѣлъ отъ тепла. Нагрѣваніе и охлажденіе тѣлъ сопровождаются измѣненіями на наблюденіи которыхъ можно, съ несравненно большею точностію чѣмъ на показаніяхъ чувства осязанія, основать сужденіе о томъ: нагрѣвается ли тѣло или охлаждается, или остается безъ перемѣны въ термическомъ отношеніи. Главное измѣненіе этого рода, общее почти всѣмъ тѣламъ, есть *расширеніе* тѣлъ при нагрѣваніи. Мѣдный шаръ (фиг. 193), будучи разогрѣтъ, не проходитъ чрезъ кольцо, хотя не разогрѣтый легко чрезъ него проходилъ. Жидкость въ стеклянномъ сосудѣ, состоящемъ изъ резервуара и трубки съ малымъ діаметромъ (фиг. 194), при нагрѣваніи, поднимается въ трубкѣ, свидѣтельствуя что жидкія тѣла расширяются значительно болѣе, чѣмъ сколько увеличивается, вслѣдствіе расширенія стекла, вмѣстимость стеклян-

наго сосуда, въ которомъ жидкость заключена. Что сосудъ расширяется въ свою очередь въ томъ не трудно

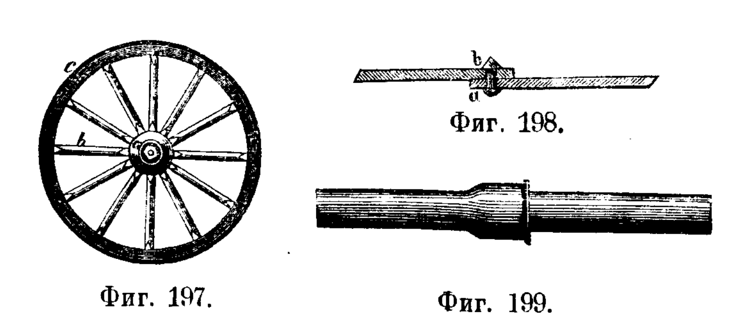


Фиг. 193 Фиг. 194. Фиг. 195. Фиг. 196.

убѣдиться, наблюдая, при погруженіи въ теплую воду начальное движеніе жидкости въ трубкѣ сосуда изображеннаго на фиг. 194, если резервуаръ его имѣетъ довольно толстыя стѣнки. Въ первый моментъ погруженія, жидкость въ трубкѣ понижается, ибо сосудъ, вслѣдствіе нагрѣванія, расширился, и вмѣстимость его увеличилась, тогда какъ нагрѣваніе не могло еще сообщиться жидкости. Но какъ скоро она нагрѣется, расширеніе ея перегонитъ расширеніе сосуда, и столбъ жидкости станетъ подыматься. Если стѣнки резервуара тонки, то моментъ пониженія жидкости ускользаетъ отъ наблюденія, и мы наблюдаемъ только повышеніе ея. Фиг. 195 изображаетъ снарядъ доказывающій расширеніе воздуха и газовъ отъ теплоты. При нагрѣваніи, ртуть или другая жидкость, отдѣляющая газъ отъ окружающей атмосферы, повышается въ открытомъ колѣнѣ согнутой трубки, свидѣтельствуя о расширеніи газа и увеличеніи его упругости отъ тепла. То же доказывается слѣдующимъ опытомъ извѣстнымъ уже въ эпоху Галилея, который „бралъ стеклянный сосудъ величиною съ куриное яйцо снаб-

женный тонкою трубкою локтя въ два длиною, нагрѣвалъ сосудъ рукой и опрокидывалъ въ подставленный стаканъ (фиг. 196). Когда воздухъ охлаждался, вода поднималась въ трубкѣ больше чѣмъ на локоть выше уровня жидкости въ сосудѣ“. Галилей воспользовался этимъ опытомъ чтобы сдѣлать инструментъ для измѣренія степени тепла и холода.

§ 143. Нѣсколько примѣровъ расширенія твердыхъ тѣлъ изъ технической практики. При постройкѣ колесъ для локомотивовъ и вагоновъ ободъ (фиг. 197) надѣвается на колесо, будучи раскаленъ до-красна. По охлажденіи онъ крѣпко охватываетъ колесо, придавая ему прочность. Толстые желѣзные листы изъ которыхъ дѣлаются паровые котлы скрѣпляются между собою (фиг. 198) раскаленными гвоздями. Ударами молота сплющиваютъ кончики, и гвозди, по охлажденіи, плотно скрѣпляютъ листы. Газопроводныя и водопроводныя трубы дѣлаются изъ частей входящихъ одна въ другую (фиг. 199), такъ что онѣ могутъ расширяться не толкаясь взаимно. Для этой же цѣли между полосами рельсовъ оставляютъ небольшіе промежутки.



Фиг. 197. Фиг. 198. Фиг. 199.

§ 134. Понятіе о термометрѣ и температурѣ. Нѣтъ надобности измѣрять непосредственно объемъ даннаго тѣла чтобъ изучать измѣненія его термическаго состоянія. Достаточно привести его въ надлежащее прикосновеніе съ другимъ тѣломъ, сравнительно малыхъ размѣровъ, расширеніе котораго наблюдать удобно и которое носитъ названіе *термометра*. Если, напримѣръ,

въ сосудъ съ нагрѣтою водой опустимъ небольшой резервуаръ съ трубкою наполненный ртутью или иною жидкостью (въ родѣ изображеннаго на фиг. 194), то замѣтимъ что колонна жидкости въ трубкѣ быстро повысится до нѣкоторой опредѣленной высоты, которая осталась бы безъ измѣненія, еслибы вода не охлаждалась съ теченіемъ времени. Такой резервуаръ съ трубкой есть *термометръ*. Указанный моментъ опыта выражается словами: *термометръ пришелъ въ равновѣсіе температуры* съ водою въ которую погруженъ. По мѣрѣ охлажденія воды, вмѣстѣ охлаждается и термометръ, въ каждый моментъ стремясь придти въ равновѣсіе температуры съ водою. Такимъ образомъ приводя термометръ въ прикосновеніе съ различными тѣлами или оставляя въ воздухѣ мы можемъ по движенію его жидкой колонны заключить объ измѣненіяхъ термическаго состоянія или *температуры* прикасающихся къ термометру, а въ случаѣ воздуха, и окружающихъ термометръ тѣлъ.

§ 145. Термометръ флорентинскихъ академиковъ. Члены Флорентинской академіи *del Cimento* (въ шестидесятыхъ годахъ XVII вѣка, перваго, по времени основанія, ученаго общества въ Европѣ) употребляли въ качествѣ термометра резервуаръ съ трубкой наполненный спиртомъ (фиг. 200), который описывается слѣдующими словами: «Термометръ есть инструментъ служащій для измѣренія степени тепла воздуха. Онъ состоитъ изъ стеклянной трубки оканчивающейся на одномъ концѣ шарикомъ изъ того же вещества... Термометръ тѣмъ чувствительнѣе чѣмъ болѣе діаметръ шарика сравнительно съ діаметромъ трубки... Чтобы наполнить термометръ разогрѣваютъ на огнѣ шарикъ, дабы выгнать воздухъ чрезъ открытое отверстіе, и погружаютъ тотчасъ же отверстіе въ спиртъ, который и входитъ въ снарядъ по мѣрѣ того какъ внутренній воздухъ (охлаждаясь) сгущается... Трубку раздѣляютъ помощію циркуля на десять равныхъ частей, которыя и отмѣчаютъ маленькими шариками изъ бѣлой эмали, для посредствующихъ дѣленій, употребляя шарики другаго цвѣта... Спиртъ предпочтенъ водѣ, потому что вода съ теченіемъ времени даетъ осадокъ затемняющій стекло». Произвольность раздѣленія трубки была причиною что разные инструменты въ однихъ и тѣхъ

Фги. 200

же условіяхъ показывали не одинаковое число градусовъ, и потому опыты произведенные съ разными инструментами не могли быть сравниваемы между собой если инструменты эти не были сравнены непосредственно.

§ 146. Термометръ Реомюра. Реомюръ *) пожелалъ сдѣлать термометры которыхъ дѣленія не были бы произвольны, такъ что показанія одного инструмента могли бы быть переводимы на показанія другаго безъ непосредственнаго сличенія. Для этой цѣли онъ предложилъ считать градусомъ термометра приращеніе объема жидкости въ трубкѣ равное опредѣленной доли первоначальнаго объема, какой имѣетъ жидкость когда термометръ погруженъ въ тающій снѣгъ (опытъ показалъ что во все время пока снѣгъ окружающій термометръ таетъ, высота жидкости въ трубкѣ термометра остается неизмѣняемою свидѣтельствуя о *постоянствѣ* температуры таянія льда). Реомюръ давалъ своимъ термометрамъ значительно бо́льшіе размѣры чѣмъ какіе употреблялись въ его время и употребляются нынѣ, и прежде наполненія термометра спиртомъ *калибрировалъ* его, т.-е. дѣлилъ трубку на части равнаго объема. Принявъ очень маленькую мѣрку за единицу и измѣривъ ею нѣсколько мѣрокъ болѣе значительныхъ размѣровъ, онъ наливалъ въ термометръ, помощію тонкой воронки, *тысячу* мѣрокъ воды, соразмѣряя количество такъ чтобы эта вода, равная по объему тысячѣ мѣрокъ, наполнила резервуаръ и нѣкоторую часть трубки. Затѣмъ, вливая по мѣркѣ ртути (чтобъ избѣгнуть испаренія при наливаніи), отмѣчалъ градусы 1°, 2°, 3°..., поставивъ нуль при первоначальной вершинѣ жидкости. Когда трубка такимъ образомъ была раздѣлена на части равнаго объема, изъ коихъ каждая равна тысячной долѣ внутренняго объема снаряда до точки отмѣченной нулемъ, Реомюръ, выливъ ртуть и воду, наполнялъ снарядъ спиртомъ такъ чтобы вершина спиртной колонны была при 0° когда термометръ обложенъ тающимъ снѣгомъ. Когда, при другихъ обстоятельствахъ, вершина колонны будетъ при 15, напримѣръ, дѣленіяхъ, то значитъ объемъ спирта увеличился на 15-тысячныхъ долей: термометръ показываетъ 15° и т. д. Опустивъ свой термометръ въ кипящую воду, Реомюръ замѣтилъ что спиртъ (закипающій значительно ранѣе воды) скоро приходитъ въ кипѣніе. Онъ вынималъ тотчасъ термометръ и замѣчалъ высоту колонны когда кипѣніе прекращалось; погружалъ опять и вновь замѣчалъ высоту. Опытъ показалъ что, послѣ нѣсколькихъ погруженій, успокоившійся послѣ кипѣнія спиртъ останавливался

*) Реомюръ, французскій ученый, родился въ 1683 г., Рано попавъ въ Академію Наукъ (1708), въ теченіе пятидесяти лѣтъ былъ въ числѣ ея полезнѣйшихъ членовъ. Особенно замѣчательны его труды по части технологіи (приготовленіе стали) и зоологіи (естественная исторія насѣкомыхъ).

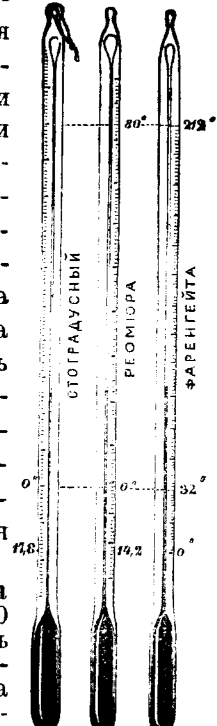
на опредѣленной высотѣ, не измѣнявшейся при новыхъ погруженіяхъ. Высота колонны соотвѣтствовала 80 дѣленіямъ. Отсюда 80° какъ точка кипѣнія воды по Реомюрову термометру.

§ 147. **Термометръ Фаренгейта.** Фаренгейтъ, славившійся искусствомъ приготовлять чувствительные и согласные между собою термометры, предпочелъ наполнять ихъ ртутью. Принявъ въ соображеніе что температура тающаго снѣга далеко не есть низшая степень тепла, онъ поставилъ 0° въ томъ мѣстѣ гдѣ останавливается ртуть когда термометръ погруженъ въ холодящую смѣсь изъ льда и соли. Точку кипѣнія воды отмѣчалъ числомъ 212, раздѣляя пространство между 0° и 212° на 212 равныхъ частей или градусовъ; причемъ температура таянія льда соотвѣтствовала 32°. На практикѣ, повидимому, Фаренгейтъ не опредѣлялъ, вслѣдствіе измѣнчивости дѣйствія холодящихъ смѣсей, своей низшей точки, а отмѣчалъ точку таянія и точку кипѣнія, раздѣлялъ пространство между ними на 180 частей, и продолжалъ дѣленіе на 32 градуса ниже до 0. Трудно рѣшить, почему для обозначенія температуры кипѣнія Фаренгейтъ избралъ число 212. Онъ упоминаетъ о температурѣ человѣческаго тѣла какъ о постоянной точкѣ, соотвѣтствующей почти 100° его термометра. По показанію германскаго ученаго XVIII вѣка, извѣстнаго философа Вольфа, крайнія точки Фаренгейтовой скалы суть: температура смѣси льда и соли и температура кипѣнія ртути, пространство между которыми дѣлится на 600 равныхъ частей, что даетъ 32° для температуры замерзанія воды.

§ 148. **Воздушный термометръ Галилея и другихъ.** Снаряды въ родѣ изображеннаго на фиг. 196 Галилеемъ и нѣкоторыми другими учеными его эпохи также употреблялись въ качествѣ термометровъ. Но такіе весьма чувствительные *воздушные* термометры представляютъ то неудобство, что движеніе жидкости въ нихъ зависитъ отъ двухъ причинъ: измѣненія температуры и измѣненія атмосфернаго давленія. Еслибы давленіе атмосферы постоянно было одно и то же, то колонна жидкости въ трубкѣ опускалась бы и поднималась единственно вслѣдствіе нагрѣванія и охлажденія внутренняго воздуха. Но такъ какъ давленіе атмосферы измѣняется, то колонна движется и при постоянной температурѣ. Голландскій механикъ XVII вѣка Дреббель, поселившійся въ Англіи, которому многими приписывалось самое изобрѣтеніе термометра, употреблялъ подобные снаряды не столько для опредѣленія степеней тепла, сколько какъ примѣръ *perpetuum mobile*.

§ 149. **Стоградусный термометръ.** Шведскій ученый Цельзій предложилъ (1742 г.) нынѣ наиболѣе употребительное въ научныхъ сочиненіяхъ стоградусное раз-

дѣленіе термометрической скалы *). Онъ предложилъ принять за основныя точки термометра точку таянія льда и точку кипѣнія воды, и раздѣлить пространство между ними на сто равныхъ частей или градусовъ. Фиг. 201 изображаетъ три одинаковыхъ термометра съ различными скалами. 100° стоградуснаго термометра соотвѣтствуютъ 80° Реомюра и 212° Фаренгейта. Нуль термометра Фаренгейта находится на 32 дѣленіи ниже точки таянія льда (при которой, слѣдовательно, стоитъ число 32). Градусы холода отмѣчаемые знакомъ — (градусы тепла отмѣчаются знакомъ +) начинаются, слѣдовательно, на термометрѣ Фаренгейта на 32 дѣленія ниже точки таянія льда.



Фиг. 201.

§ 150. **Переведеніе показаній термометра съ одной скалы на другую.** Такъ какъ 100 градусовъ Цельзія равняются 80 градусамъ Реомюра, то для переведенія показаній стоградуснаго термометра на скалу Реомюра надо число градусовъ стоградуснаго термометра помножить на $^{80}/_{100} = {}^{4}/_{5}$. Наоборотъ, чтобы перевести данное число градусовъ термометра Реомюра на стоградусную скалу надо это число помножить на $^{5}/_{4}$.

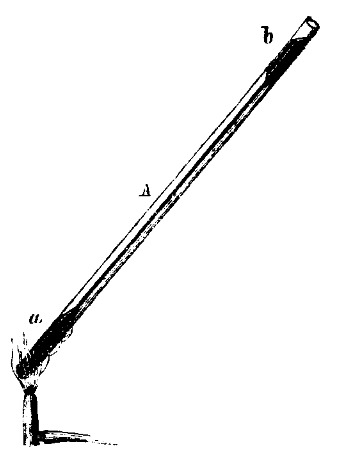
Для переведенія Фаренгейтовой скалы на стоградусную служитъ формула $C = {}^{5}/_{9}\,(F - 32)$, гдѣ F число градусовъ термометра Фаренгейта, C таже температура на стоградусной скалѣ. Наоборотъ чтобы данное число C градусовъ Цельзія перевести на скалу Фаренгейта служитъ формула $F = {}^{9}/_{5}\,C + 32$.

Приводимъ краткую сравнительную таблицу показаній различныхъ термометровъ:

*) Указанія на температуры въ нашемъ сочиненіи сдѣланы также по стоградусному термометру.

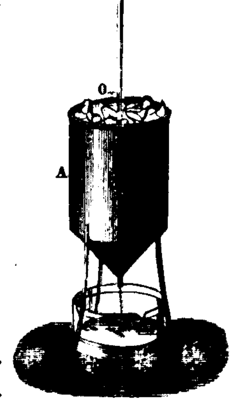
Цельзій	Реомюръ	Фаренг.	Реомюръ	Цельзій	Фаренг.
— 40	— 32	— 40	— 30	— 37,5	— 35,5
— 30	— 24	— 22	— 20	— 25	— 13
— 20	— 16	— 4	— 10	— 12,5	9,5
— 10	— 8	14	0	0	32
0	0	32	10	12,5	54,5
10	8	50	20	25	77
20	16	68	30	37.5	99,5
30	24	86	40	50	122
40	32	104	60	75	167
80	64	176	80	100	212
100	80	212			

§ 151. Нѣсколько подробностей о приготовленіи точныхъ термометровъ. Выбравъ трубку и раздѣля ее на значительное число равныхъ частей *по объему* (операція эта называется *калибрированіемъ* трубки), выдуваютъ на концѣ ея шарикъ или, лучше, припаиваютъ къ ея концу цилиндрическій резервуаръ. Чтобы наполнить снарядъ ртутью, на другомъ концѣ трубки дѣлаютъ (выдувая или припаивая) расширеніе въ формѣ воронки (Фиг. 202), которое и наполняютъ ртутью. Вслѣдствіе тонкости канала, ртуть не входитъ въ него, но если подогрѣть резервуаръ, то часть воздуха будетъ выгнана, и когда послѣдуетъ охлажденіе, атмосферное давленіе вгонитъ ртуть въ трубку и резервуаръ. Вновь нагрѣвъ ртуть резервуара до кипѣнія, можно выгнать весь воздухъ и



Фиг. 202.

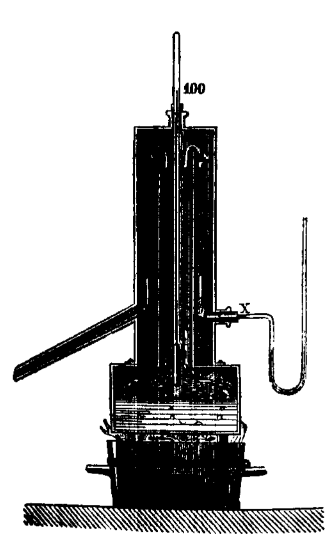
снарядъ весь наполнится ртутью. Подогрѣвъ термометръ нѣсколько выше того предѣла температуры для какого онъ назначается, выгоняютъ излишнюю ртуть и запаиваютъ конецъ трубки. Затѣмъ опредѣляютъ *постоянныя точки*: *точку таянія льда* или 0° и *точку кипѣнія воды*. Для опредѣленія первой опускаютъ снарядъ въ сосудъ съ тающимъ льдомъ (фиг. 203) и отмѣчаютъ гдѣ останавливается ртуть. Чтобъ опредѣлить точку кипѣнія, термометра не погружаютъ прямо въ кипящую воду, а помѣщаютъ его въ парѣ, идущемъ отъ кипящей воды, отчасти потому что температура въ разныхъ слояхъ кипящей воды не совсѣмъ одинакова, отчасти потому что вода разной степени химической чистоты (колодезная, дистиллированная) и въ разныхъ сосудахъ кипитъ не при одинаковой температурѣ (въ металлическомъ, напримѣръ, закипаетъ нѣсколько раньше чѣмъ въ стеклянномъ). Между тѣмъ температура пара отъ этихъ условій не зависитъ и измѣняется лишь въ зависимости отъ давленія окружающаго воздуха. Условились считать за 100° (или 80, если скала Реомюра) ту температуру, какую имѣетъ паръ кипящей воды, когда кипѣніе происходитъ при барометрическомъ давленіи 760 миллиметровъ. Если въ моментъ опыта барометръ показываетъ менѣе 760 милл., то высота, на которой останавливается ртуть термометра, обозначаетъ нѣсколько менѣе 100° и наоборотъ температура болѣе 100°, если давленіе выше 760 милл. Какая именно температура должна быть отмѣчена въ томъ мѣстѣ гдѣ остановилась ртуть узнаютъ, справив-



Фиг. 203.

шись въ таблицахъ гдѣ указаны, на основанiи точныхъ опытовъ, температуры кипѣнiя соотвѣтствующiя разнымъ давленiямъ.

Чтобы наблюдать истинную температуру пара и избѣгнуть его охлажденiя, снарядъ (фиг. 204) устраивается съ двойными стѣнками *): паръ подымается во внутреннемъ каналѣ, потомъ опускается между двойными стѣнками и чрезъ o выходитъ наружу.



Фиг. 204.

Опредѣливъ точку нуля и точку соотвѣтствующую кипѣнiю при извѣстномъ давленiи, пространство между этими постоянными точками дѣлятъ на столько равныхъ частей сколько указывается температурою кипѣнiя (на 100 если кипѣнiе происходитъ при 760 милл.). Каждая такая часть есть *градусъ* термометра. Градусы эти отмѣчаются или на самой трубкѣ термометра или на особой линейкѣ, къ ней присоединенной. Раздѣленiе облегчается предварительно сдѣланными мелкими раздѣленiями трубки на равныя части.

Еслибы трубка была внутри строго цилиндрическая, то ея части равной длины были бы и частями равнаго объема. Но обыкновенно трубки болѣе или менѣе отступаютъ отъ цилиндрической формы; потому, чтобы произвести раздѣленiе трубки на части равнаго объема, ее *калибрируютъ*. Для этого вводятъ въ нее малую колонну ртути (фиг. 205) и отмѣчаютъ положенiе ея крайнихъ точекъ e и d; затѣмъ перемѣщаютъ ее такъ что конецъ прежде находившiйся въ e перейдетъ въ d и отмѣчаютъ новое положенiе c втораго

Фиг. 205.

*) Прибавленная къ снаряду двухколѣнная трубка со ртутью (манометръ) служитъ для доказательства весьма важнаго въ ученiи о парѣ положенiя. Когда вода кипитъ, паръ ея вытѣсняетъ мало-по-малу воздухъ изъ снаряда и ртуть манометра въ каналѣ, соединенномъ съ снарядомъ, испытываетъ давленiе

конца и т. д. Чтобы заставить ртутный столбикъ передвигаться внутри трубки, конецъ ея вставляется въ каучуковую трубку и ртомъ втягиваютъ или вдуваютъ слегка воздухъ. Части ab, bc, cd.... по длинѣ неравныя между собою, очевидно, соотвѣтствуютъ равнымъ объемамъ. Для болѣе мелкихъ подраздѣленiй, каждую изъ нихъ разбиваютъ еще на нѣсколько равныхъ частей уже просто по длинѣ, такъ какъ на небольшомъ протяженiи трубку можно съ достаточною точностiю считать цилиндрическою. Дѣленiя отмѣчаютъ или на присоединенной къ трубкѣ линейкѣ, или на самой трубкѣ, покрывъ ее такъ-называемымъ лакомъ граверовъ. Затѣмъ плавиковою кислотой, не дѣйствующей на этотъ лакъ, вытравляютъ слегка стекло въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ сдѣланы отмѣтки и лакъ снятъ. Лакъ въ свою очередь смываютъ терпентиномъ, въ которомъ онъ растворяется.

Когда термометръ назначается для температуръ ниже 100, то его размѣчаютъ по сравненiи съ образцовымъ термометромъ.

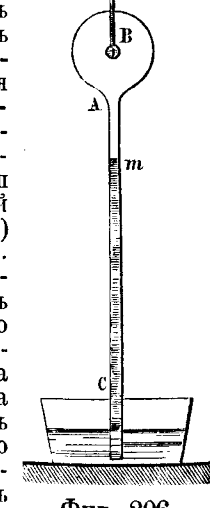
§ 152. Какъ происходитъ нагрѣванiе и охлажденiе термометра. Термометръ нагрѣвается или охлаждается дѣйствiемъ окружающихъ тѣлъ: 1) при непосредственномъ *прикосновенiи*, когда онъ, напримѣръ, погруженъ въ жидкость или приложенъ къ твердому тѣлу; 2) находясь *на разстоянiи* отъ нагрѣтаго или холоднаго тѣла, когда между имъ и этимъ тѣломъ пустота или газообразное тѣло, или вообще среда не препятствующая такому дѣйствiю (лучистое распространенiе тепла).

Что теплота можетъ сообщаться на разстоянiи *чрезъ пустоту*. о томъ свидѣтельствуетъ слѣдующiй, опытъ Румфорда *) Искусный мастеръ укрѣпилъ прочно сферическiй резервуаръ ртутнаго термометра въ центрѣ стекляннаго баллона, который и былъ наполненъ ртутью помощiю длинной бароме-

со стороны наполняющаго его пара, тогда какъ чрезъ открытое колѣно давитъ атмосфера. Опытъ показываетъ что ртуть въ обоихъ колѣнахъ стоитъ на равной высотѣ. Заключаемъ что упругость пара, доставляемаго водою при температурѣ кипѣнiя, равняется атмосферному давленiю.

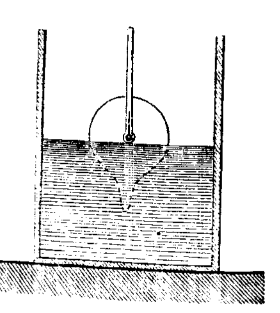
*) Румфордъ родился въ Сѣверной Америкѣ въ 1752 г. отъ небогатыхъ родителей; рано вступилъ въ практическую жизнь, чрезъ женитьбу получивъ значительное состоянiе. Въ войнѣ между Америкой и Англiей былъ на сторонѣ Англiи и 1776 года прибылъ въ Лондонъ. Чрезъ нѣсколько лѣтъ поселился въ Мюнхенѣ, гдѣ неутомимо занимался учеными изслѣдованiями особен-

трической трубки (фиг. 206) къ нему припаянной. По наполненіи, снарядъ опрокидывался, какъ въ опытѣ Торичелли, открытымъ концомъ въ ртуть баллономъ къ верху. Снарядъ «становился тогда барометромъ, и ртуть опускалась въ баллонѣ и верхней части трубки до высоты 28 дюймовъ». Въ баллонѣ образовалась пустота. Направивъ паяльною трубкою пламя на шейку барометрической трубки, около мѣста соединенія ея съ баллономъ, можно было отдѣлить баллонъ отъ трубки не впустивъ воздуха (атмосферное давленіе сблизитъ до прикосновенія размягченныя огнемъ стѣнки трубки и мѣсто отдѣленія запаяется). Такой пустой баллонъ съ термометромъ внутри (фиг. 207) опускался въ сосудъ съ водою при 18° Р. «Убѣдившись, говоритъ Румфордъ, что термометръ внутри пустаго баллона показываетъ 18°, я вынулъ инструментъ и погрузилъ его въ сосудъ съ кипящею водою. Ртуть въ термометрѣ поднялась, доказывая что теплота горячей воды *чрезъ пустоту* достигала шарика термометра». Такъ какъ термометръ былъ припаянъ къ стѣнкѣ баллона, то можно было возразить, что теплота сообщается резервуару термометра чрезъ его трубку отъ стѣнки баллона. Но можно оставить это мѣсто не погруженнымъ (фиг. 207) и даже нѣсколько охладить безъ измѣненія результата. Наконецъ, «чтобъ отвратить всякое сомнѣніе, прибавляетъ Румфордъ, я нашелъ средство повторить опытъ съ термометромъ, привѣшеннымъ внутри баллона помощію одной только шелковой нити».



Фиг. 206.

Что тѣла дѣйствуютъ на термометръ не только чрезъ пустоту, но и чрезъ воздухъ, о томъ свидѣтельствуетъ, напримѣръ, слѣдующій опытъ. Ставъ съ термометромъ предъ очагомъ, мы увидимъ что ртуть поднимается и ощутимъ жаръ, хотя бы окружающій насъ воздухъ былъ холоденъ; слѣдовательно теплота очага можетъ сообщаться термометру и намъ, проходя чрезъ воздухъ, остающійся холоднымъ. Загородивъ очагъ непрозрачнымъ препятствіемъ, замѣтимъ что термометръ тотчасъ опустится и перестанемъ ощущать жаръ, а почувствуемъ холодъ прикасающагося къ намъ воздуха. Тѣла, какъ воздухъ, чрезъ которыя теплота проходитъ такъ какъ проходитъ чрезъ пустоту, называются *теплопрозрачными*.



Фиг. 207.

но о явленіяхъ теплоты, направляя труды преимущественно къ приложеніямъ науки и филантропическимъ предпріятіямъ. Здѣсь получилъ титулъ графа. По возвращеніи въ Лондонъ основалъ знаменитый Королевскій Институтъ (Royal Institution). Умеръ въ 1814 году.

§ 153. Какъ происходитъ вообще сообщеніе тепла. Не только въ случаѣ термометра, но и вообще сообщеніе тепла происходитъ: 1) чрезъ прикосновеніе, когда теплое тѣло касается другаго менѣе теплаго, или когда въ одномъ тѣлѣ одна часть теплѣе прилегающихъ, 2) дѣйствіемъ на разстояніи, если между нагрѣтымъ тѣломъ и тѣломъ, получающимъ теплоту, находится пропускающая теплоту (теплопрозрачная) среда.

Для объясненія распространенія теплоты и свѣта чрезъ пустоту допускаютъ что безвоздушное пространство и также пространство междузвѣздное не представляютъ собою пустоты въ абсолютномъ смыслѣ, а наполнены тонкимъ веществомъ, *эѳиромъ*, при посредствѣ котораго и распространяются тепловыя и свѣтовыя дѣйствія. Эѳиръ наполняетъ промежутки между частицами твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ. Тѣ тѣла, частицы которыхъ не поглощаютъ теплоты распространяющейся чрезъ наполняющій ихъ промежутки эѳиръ, суть тѣла *теплопрозрачныя*. Вполнѣ теплопрозрачныхъ тѣлъ нѣтъ, всѣ болѣе или менѣе поглощаютъ проходящую теплоту. Къ наиболѣе теплопрозрачнымъ принадлежатъ газы, изъ твердыхъ же тѣлъ каменная соль, а изъ жидкихъ сѣрнистый углеродъ. Стекло пропускаетъ довольно много теплоты если она идетъ отъ сильно раскаленнаго тѣла, но задержива-

етъ идущую отъ тѣла не очень высокой температуры.

§ 154. **Сообщеніе теплоты въ твердыхъ тѣлахъ, распространеніе вслѣдствіе теплопроводности.** Когда теплота сообщается чрезъ прикосновеніе одного твердаго тѣла къ другому или переходитъ въ тѣлѣ отъ его нагрѣтой части къ сосѣднимъ менѣе нагрѣтымъ, то говорятъ что тѣла эти *проводятъ* теплоту, и способность ихъ переносить теплоту въ большей или меньшей степени называется *теплопроводностію.* Если слой даннаго вещества, находящійся въ одинакихъ условіяхъ съ слоемъ той же толщины другаго вещества, передаетъ чрезъ себя болѣе теплоты чѣмъ этотъ второй слой, то теплопроводность перваго вещества болѣе теплопроводности втораго. Также если палочка даннаго вещества, будучи на одномъ концѣ поддерживаема при извѣстной температурѣ, нагрѣвается на дальнѣйшее разстояніе чѣмъ палочка другаго вещества, то заключаемъ что первая лучше проводитъ теплоту чѣмъ вторая. Наилучшіе проводники суть металлы. Возьмемъ въ руку два прута, одинъ желѣзный, другой деревянный, и станемъ нагрѣвать ихъ концы, напримѣръ, на пламени свѣчи. Въ желѣзномъ прутѣ теплота отъ нагрѣтаго конца распространится вдоль прута, рука ощутитъ теплоту, и если прутъ не длиненъ, а нагрѣваніе сильно, то окажется невозможнымъ удержать его въ рукѣ. Въ деревянномъ прутѣ нагрѣваніе распространяется на незначительное разстояніе отъ нагрѣваемаго мѣста, и хотя прутъ, по мѣрѣ сгоранія, будетъ становиться короче и короче, мы можемъ держать его въ рукѣ почти до полнаго сгоранія, не чувствуя замѣтнаго нагрѣванія. Деревянныя и костяныя ручки у металлическихъ чайниковъ и у самоваровъ позволяютъ переносить ихъ, не обжигаясь. Можно, держа въ рукѣ конецъ стеклянной палочки, раскалить и расплавить ее на другомъ

ея концѣ; запечатывая письмо, расплавляемъ сургучъ на концѣ, не ощущая замѣтной теплоты въ рукѣ держащей палочку. Свѣча сгораетъ постепенно, не растаивая, что не было бы возможно еслибы вещество ея имѣло такую теплопроводность какъ, напримѣръ, металлъ. Дерево, кость, стекло, сургучъ, стеаринъ суть дурные проводники тепла. Слѣдующій опытъ рѣзко указываетъ разницу въ теплопроводности металла и дерева. Возьмемъ металлическій шаръ и прикроемъ его носовымъ платкомъ такъ чтобы платокъ плотно прилегалъ къ поверхности шара. На платокъ можно положить раскаленный уголь и платокъ не прогоритъ, такъ какъ теплота отъ мѣста прикосновенія угля тотчасъ уведется металломъ, и мѣсто это быстро охладится. Но если платокъ прикрываетъ собою деревянный шаръ, то онъ прогоритъ, ибо дерево уведетъ небольшую лишь часть теплоты.

Когда мы прикасаемся къ тѣлу, температура котораго неодинакова съ температурою нашей кожи, то испытываемое нами ощущеніе зависитъ отъ теплопроводности этого тѣла. Металлъ кажется намъ при обыкновенной комнатной температурѣ холоднѣе дерева, хотя термометръ показываетъ что температура ихъ одинакова. Это происходитъ отъ того что металлъ какъ хорошій проводникъ немедленно уводитъ теплоту кожи, и мы чувствуемъ охлажденіе, тогда какъ, прикасаясь къ дереву, кожа сохраняетъ свою теплоту.

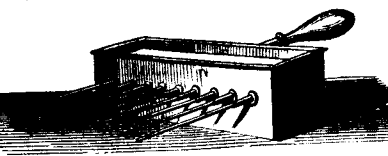
Опытъ показываетъ что въ тѣлахъ волокнистаго и порошкообразнаго строенія, гдѣ теплота, чтобы перейти отъ волокна къ волокну, отъ порошинки къ порошинкѣ, передается чрезъ раздѣляющій ихъ слой воздуха, тепло распространяется медленно (аналогія съ тѣлами глушащими звукъ), и такія тѣла суть дурные проводники. Отсюда употребленіе ваты, шерсти, мѣха для охраненія тѣла отъ охлажденія.

Чтобы яснѣе представить различіе между распространеніемъ
тепла путемъ проводимости въ твердыхъ тѣлахъ и распро-
страненіемъ ея чрезъ теплопрозрачныя среды, укажемъ что
теплота въ первомъ случаѣ передается отъ одного слоя къ
слѣдующему вслѣдствіе *разности* ихъ температуры, въ слу-
чаѣ же теплопрозрачнаго тѣла (напримѣръ воздуха или ка-
менной соли) передача идетъ отъ слоя къ слою *равной* тем-
пературы, независящей отъ температуры нагрѣвающаго и на-
грѣваемаго тѣлъ. Передача дѣйствія происходитъ собственно
чрезъ эѳиръ. Особенность теплопрозрачныхъ тѣлъ сравнитель-
но съ другими въ томъ что частицамъ ихъ не сообщается дѣй-
ствіе передаваемое эѳиромъ. Прибавимъ что каменная соль какъ
твердое тѣло можетъ передавать тепло не только въ каче-
ствѣ теплопрозрачнаго тѣла, но и чрезъ проводимость.

§ 155. Метода Франклина и Ингенгуса для сравненія теплопроводности металловъ. Чтобы болѣе или менѣе
точно сравнивать *теплопроводность* тѣлъ, членъ Лон-
донскаго Королевскаго Общества, врачъ Ингенгусъ
(въ 1780 г.) воспользовался методой, указанною ему
Франклиномъ. *) „Снарядъ, говоритъ Ингенгусъ, со-

*) Франклинъ родился въ Бостонѣ, въ Сѣверной Америкѣ, въ
1706 году въ бѣдномъ семействѣ; въ юности былъ типографщи-
комъ, не получилъ правильнаго школьнаго образованія и обра-
зовалъ себя преимущественно чтеніемъ (любилъ особенно біогра-
фіи Плутарха и трактатъ автора *Робинзона*, Де-Фое, о проек-
тахъ различныхъ улучшеній въ экономическомъ и соціальномъ
бытѣ народа). Какъ народный писатель и общественный дѣ-
ятель, пріобрѣлъ уважаніе согражданъ и отправлялъ многія об-
щественныя должности; своими учеными изслѣдованіями въ осо-
бенности объ электричествѣ,—свидѣтельствующими какъ помощію
простѣйшихъ средствъ могутъ быть достигаемы очень важные
результаты, — и открытіемъ тождества молніи и электрической
искры (громоотводы) пріобрѣлъ мѣсто въ ряду первыхъ ученыхъ
своего времени. Въ 1757—1762 году былъ въ Лондонѣ какъ упол-
номоченный отъ своихъ согражданъ и ревностно защищалъ инте-
ресы колоній. Во время вспыхнувшей войны Америки съ Англі-
ею былъ въ 1776 г. представителемъ своего отечества во Фран-
ціи. Послѣдніе годы провелъ на родинѣ; скончался 1790 году
на восемьдесятъ пятомъ году жизни. Труды Франклина какъ уче-
наго, писателя и моралиста, по доступности и простотѣ изложе-
нія, поставили его въ число популярнѣйшихъ писателей своего
времени.

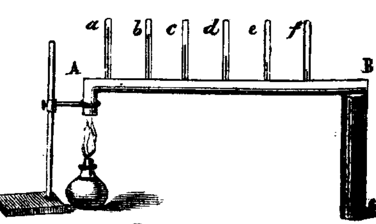
стоялъ изъ семи проволокъ, каждая изъ особаго метал-
ла, но всѣ протянутыя чрезъ то же отверстіе и слѣдова-
тельно равной толщины, около 1/22 парижскаго дюйма.
Эти семь металлическихъ проволокъ я завинтилъ въ раз-
стояніи дюйма одна отъ другой между двумя деревянны-
ми перекладинками, такъ что ихъ длина отъ перекладин-
ны до конца была одинакова. Я растопилъ бѣлый воскъ
въ глиняномъ сосудѣ съ ровными краями. Въ этотъ
растопленный воскъ погрузилъ весь рядъ проволокъ,
положивъ концы державшихъ ихъ перекладинъ на края
горшка. Когда вынулъ, на каждой проволокѣ остался
слой воска, по охлажденіи сдѣлавшійся очень явствен-
нымъ. Тогда въ другомъ горшкѣ я нагрѣлъ масло до
высокой степени, не доводя лишь до кипѣнія, и по-
грузилъ въ него концы проволокъ, всѣ до одинаковой
глубины“. Слой воска растопился на каждой изъ
проволокъ, но не на одинаковой длинѣ; въ прово-
локѣ которой теплопроводность больше,—нагрѣваніе,
до степени достаточной для расплавленія воска,— рас-
пространялось дальше чѣмъ въ имѣющей меньшую те-
плопроводность. Сравнивая эти длины можно было за-
ключить о сравнительной теплопроводности метал-
ловъ. Оказалось что серебро лучшій проводникъ,
за нимъ слѣдуютъ мѣдь, золото, олово, желѣзо, сталь
свинецъ. Фиг. 208
изображаетъ сна-
рядъ Ингенгуса въ
нѣсколько измѣнен-
ной формѣ для лек-
ціоннаго употреб-
ленія. Покрытыя воскомъ палочки разныхъ веществъ
вставлены концами въ сосудъ наполненный разогрѣ-
тою жидкостію.



Фиг. 208.

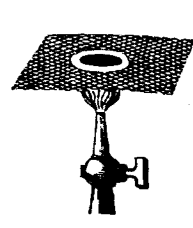
Болѣе точный способъ изслѣдованія теплопроводности метал-
ловъ состоитъ въ изученіи движенія теплоты въ цилиндрическомъ
или призматическомъ прутѣ, одинъ конецъ котораго поддер-

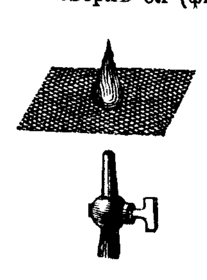
живается при постоянно высокой температурѣ (фиг. 209). Явленіе слагается изъ двухъ періодовъ: въ первомъ прилежащія къ концу A части постепенно нагрѣваются, такъ что ртуть въ термометрахъ a, b, c... вставленныхъ въ углубленія сдѣланныя въ полосѣ, постепенно повышается; во второмъ, наступающемъ чрезъ довольно продолжительное время, устанавливается *постоянное распредѣленіе температуръ*, и термометры останавливаются каждый на опредѣленной высотѣ, причемъ показываемыя ими температуры понижаются послѣдовательно отъ конца A къ концу B. Такое распредѣленіе температуръ остается неизмѣннымъ неопредѣленное время, если конецъ A нагрѣвается одинаковымъ образомъ и температура окружающей среды не мѣняется: каждый слой полосы въ данное время столько же принимаетъ теплоты, сколько ея отдаетъ: происходитъ движеніе и обмѣнъ теплоты безъ измѣненія температуры. Румфордъ, производя подобный опытъ и поддерживая конецъ A при температурѣ 100°, а конецъ B при 0°, думалъ найти въ срединѣ полосы среднюю температуру 50°; но опытъ не оправдалъ этого ожиданія: температуры возрастаютъ отъ конца B къ концу A не пропорціонально разстоянію отъ конца B, а слѣдуютъ менѣе простому закону.



Фиг. 209.

§ 156. Охлаждающее дѣйствіе металлической сѣтки на пламя; лампа Деви. Если надъ пламенемъ газа или свѣчи держать металлическую сѣтку, то вслѣдствіе сообщенія тепла проволокамъ сѣтки и быстраго ея въ нихъ распространенія, газообразное горящее вещество охлаждается въ такой мѣрѣ что тухнетъ, проходя чрезъ сѣтку, и выше ея идетъ уже невидимымъ потокомъ (фиг. 210). Если, пустивъ газъ, зажечь его *выше* сѣтки, то пламя образуется поверхъ ея (фиг. 211),


Фиг. 210.


Фиг. 211.

а внизу ея остается темное пространство отъ сѣтки до отверстія. Англійскій ученый Деви *), основываясь на этихъ опытахъ, устроилъ такъ-называемую *предохранительную лампу* для работниковъ въ каменно-угольныхъ копяхъ. Въ этихъ копяхъ нерѣдко скопляется водоуглеродный газъ который, будучи смѣшанъ въ опредѣленномъ количествѣ съ воздухомъ и воспламененъ, даетъ сильный взрывъ, гибельный для работающихъ. Чтобы сдѣлать лампы, при свѣтѣ которыхъ производятся работы, неспособными воспламенить вредный газъ, Деви предложилъ окружать ихъ пламя цилиндромъ изъ металлической сѣтки (фиг. 212). Если внутри такой лампы газъ и воспламенится, то пламя его, едва видимое, не проникнетъ чрезъ сѣтку, и взрыва не послѣдуетъ. Бывали, впрочемъ, случаи что, по причинѣ порчи сѣтки или отъ сильнаго толчка, пламя проходило и производило взрывъ Потому рекомендуютъ обращать вниманіе на лампу, и когда она начнетъ тускнуть, свидѣтельствуя о скопленіи вреднаго газа, то поспѣшить удалиться.

Фиг. 212.

§ 157 Распространеніе солнечной теплоты въ земной корѣ; собственная теплота земнаго шара. Законы теплопроводности въ твердыхъ тѣлахъ, открытые знаменитымъ французскимъ математикомъ начала нынѣшняго столѣтія, Фурье, были приложены имъ къ разрѣшенію вопроса о движеніи въ толщѣ земной коры солнечной теплоты, нагрѣвающей земную поверхность. Земную кору въ данномъ мѣстѣ можно разсматривать какъ слой проводящаго вещества, верхняя поверхность котораго *періодически* нагрѣвается и охлаждается, достигая (въ годовой періодъ) наибольшей температуры лѣтомъ, наименьшей зимою. Вслѣдствіе теплопроводности, нагрѣваніе и

*) Гумфри Деви, знаменитый англійскій химикъ открывшій путемъ электро-химическаго разложенія металлы потасій, натрій и другіе, родился въ 1778 году. Начавъ поприще въ качествѣ аптекарскаго ученика, успѣлъ самоучкою пріобрѣсти обширныя познанія въ наукахъ и языкахъ. Статьи его въ одномъ ученомъ журналѣ обратили вниманіе на молодаго химика, и по рекомендаціи Румфорда онъ поступилъ профессоромъ въ Лондонскій Королевскій Институтъ. Это былъ первый важный шагъ на блестящемъ ученомъ поприщѣ Деви. Въ теченія двадцати пяти лѣтъ онъ былъ украшеніемъ Лондонскаго Королевскаго Общества; умеръ въ 1829 году.

охлажденіе верхняго слоя сообщается постепенно болѣе глубокимъ слоямъ, и происходитъ движеніе теплоты. Теоретическія изслѣдованія Фурье *) показываютъ: 1) что въ каждомъ слоѣ измѣненія температуры происходятъ также періодически, но разность между наибольшею и наименьшею температурами становится тѣмъ менѣе чѣмъ глубже разсматриваемый слой, такъ что на нѣкоторой глубинѣ разность эта равняется нулю, и температура круглый годъ и цѣлые годы остается постоянною, равною средней температурѣ мѣста. Наблюденія, идущія еще съ конца XVII вѣка, подтверждаютъ это положеніе теоріи. Въ погребахъ Парижской Обсерваторіи, на глубинѣ 27 метровъ, съ 1783 года поставленъ весьма чувствительный ртутный термометръ въ продолженіе почти столѣтія показывающій неизмѣнную температуру 11°,8. Уже на глубинѣ 8 метровъ въ Брюсселѣ, по наблюденіямъ Кетле, разность между наибольшею и наименьшею температурой менѣе полутора градуса. Близь экватора, гдѣ лѣтнія и зимнія температуры мало разнятся между собою, слой неизмѣняемой температуры находится близко къ поверхности, и на глубинѣ фута температура въ теченіе мѣсяцевъ измѣняется едва на нѣсколько десятыхъ долей градуса. 2) Наступленіе высшей, низшей и средней температуръ происходитъ неодновременно въ слояхъ лежащихъ на разной глубинѣ. Въ верхнемъ слоѣ наибольшая температура наступаетъ (въ Брюсселѣ) въ іюлѣ мѣсяцѣ, на глубинѣ метра она наступаетъ лишь

въ сентябрѣ, на глубинѣ четырехъ метровъ въ октябрѣ, на глубинѣ восьми метровъ въ декабрѣ, когда на верху наименьшая температура. Такимъ образомъ на глубинѣ 8 метровъ времена года перемѣщаются, и когда на верху зима, на глубинѣ 8 метровъ только что наступила наибольшая температура, и тамъ, можно сказать, лѣто.

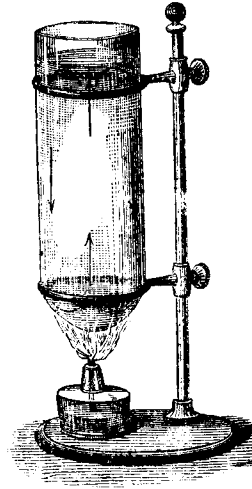
Еслибы вся теплота находящаяся внутри земли была результатомъ нагрѣвающаго дѣйствія солнца, продолжавшагося въ теченіе многихъ тысячелѣтій, то согласно изслѣдованіямъ Фурье, мы должны бы ниже слоя неизмѣняемой температуры на протяженіи нѣсколькихъ верстъ (значительно ниже чѣмъ насколько можемъ спуститься на практикѣ) встрѣчать ту же постоянную температуру какъ въ самомъ неизмѣняемомъ слоѣ, и только еслибы могли проникнуть на очень значительную глубину, то въ полярныхъ странахъ встрѣтили бы нѣкоторое повышеніе, въ экваторіальныхъ пониженіе температуры (происходящее отъ того что солнцемъ нагрѣвается преимущественно экваторіальный поясъ и теплота, проникающая въ толщу земли у экватора, теряется у полюсовъ). Между тѣмъ наблюденія даютъ совсѣмъ иной результатъ. Гдѣ бы мы ни рылись на земномъ шарѣ, всюду находимъ что температура ниже неизмѣннаго слоя быстро возрастаетъ, приблизительно на каждые 30 или 40 метровъ углубленія на 1°, какъ свидѣтельствуютъ особенно наблюденія въ рудникахъ и въ отверстіяхъ артезіанскихъ колодцевъ. Такъ, по наблюденіямъ въ англійскихъ рудникахъ на глубинѣ 150 метровъ, встрѣчается неизмѣняемая температура около 20°, на глубинѣ 400 метровъ около 25°, при средней температурѣ на поверхности отъ 9 до 10°. Подобныя наблюденія произведенныя на многихъ мѣстахъ земнаго шара доказываютъ что земля, кромѣ теплоты получаемой отъ солнца, имѣетъ собственную внутреннюю теплоту. Согласно ученію Фурье, эта теплота есть остатокъ первобытной теплоты земнаго шара, бывшаго нѣкогда въ расплавленномъ состояніи и притерпѣвающаго чрезъ вѣка и тысячелѣтія медленное постепенное охлажденіе. Внутренность земли и нынѣ имѣетъ весьма высокую температуру и находится, вѣроятно, въ расплавленномъ состояніи; тогда какъ кора уже охладилась и всѣ термическія явленія въ ней зависятъ отъ солнца. Въ толщѣ земли на глубинѣ незначительной, сравнительно съ ея размѣрами, находятся цѣлыя моря расплавленнаго вещества, отъ которыхъ зависятъ изверженія огнедышащихъ горъ.

§ 158. Нагрѣваніе жидкостей. Распространеніе теплоты въ жидкостяхъ происходитъ главнымъ образомъ не вслѣдствіе теплопроводности какъ въ твердыхъ тѣлахъ, а путемъ *переноса* теплоты вслѣдствіе

---

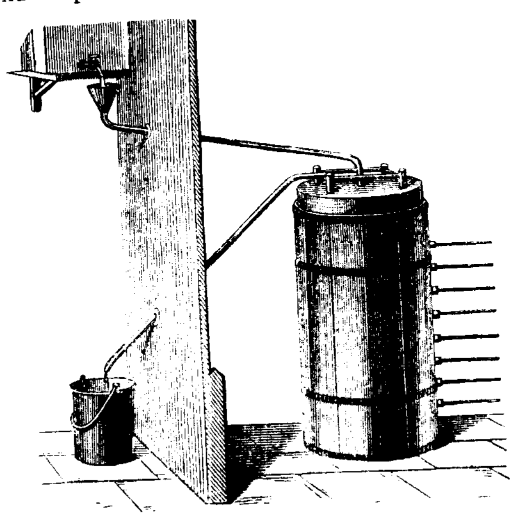
*) Фурье родился въ 1768 году и былъ сынъ портнаго; по протекціи одного епископа поступилъ въ военную школу управлявшуюся бенедиктинскими монахами и сдѣлалъ быстрые успѣхи, особенно въ литературѣ. Въ 1789 г. былъ сдѣланъ преподавателемъ математики въ школѣ и въ случаѣ болѣзни товарищей замѣнялъ преподавателей реторики, исторіи, философіи. Въ концѣ того же года представилъ въ Парижскую Академію Наукъ замѣчательный мемуаръ о разрѣшеніи уравненій всѣхъ степеней. Когда въ эпоху революціоннаго разгрома школъ во Франціи, учреждена была, съ цѣлью образовать учителей, Нормальная Школа, куда по выбору были высланы изъ разныхъ частей Франціи 500 учениковъ, въ число выбранныхъ попалъ и Фурье, скоро сдѣлавшійся самъ преподавателемъ въ Школѣ. Затѣмъ онъ былъ профессоромъ Политехнической Школы, членомъ Института и сопровождалъ Бонапарта въ египетской экспедиціи. Съ 1802 до 1815 г. онъ былъ префектомъ Изерскаго и потомъ Ронскаго департаментовъ, не оставляя научныхъ трудовъ и среди политическихъ тревогъ. Въ 1817 году, послѣ востановленія Парижской Академіи Наукъ, вступилъ въ число ея членовъ. Умеръ въ 1830 году.

смѣшенія слоевъ жидкости, происходящаго отъ того что нагрѣтыя части, какъ менѣе плотныя, подымаются вверхъ, а холодныя падаютъ,—какъ вообще бываетъ при смѣшеніи жидкостей разной плотности. Такъ, если нагрѣвать снизу воду въ стеклянномъ сосудѣ (фиг. 213), то въ рединѣ явственно образуются восходящіе потоки теплой воды, а при стѣнкахъ нисходящіе холодной; тѣ и другіе особенно легко замѣтить, если въ жидкости взвѣшены мелкія тѣла, увлекаемыя движеніемъ. Если смѣшеніе жидкихъ слоевъ затруднено вслѣдствіе того что частицы встрѣчаютъ препятствіе для свободнаго передвиженія, то переносъ теплоты совершается очень медленно, и, по причинѣ дурной собственной проводимости жидкости, масса внутри себя долго сохраняетъ теплоту, когда наружные слои уже совсѣмъ охладились. Такъ бываетъ въ случаѣ густыхъ полужидкихъ тѣлъ, напримѣръ мармелада, рисовой или манной кашицы и т. под. Можно обжечься, черпнувъ ложкою на нѣкоторой глубинѣ въ такой массѣ, хотя бы сверху она совсѣмъ охладѣла. Этотъ фактъ навелъ Румфорда на изученіе распространенія тепла въ жидкостяхъ, приведшее его къ заключенію что жидкости собственной проводимости вовсе не имѣютъ. Послѣдующія изслѣдованія показали что такое заключеніе несправедливо, и жидкости имѣютъ собственную, хотя и слабую, теплопроводность.



Фиг. 213.

Одинъ изъ замѣчательнѣйшихъ опытовъ, служащихъ къ подтвержденію этого положенія есть слѣдующій опытъ французскаго ученаго Депре *), изображенный на фиг. 214. Въ деревянную кадку налита вода и вставленъ рядъ термометровъ помѣщенныхъ на разныхъ глубинахъ. Вода нагрѣвается *сверху*



Фиг. 214.

дѣйствіемъ погруженнаго въ верхніе ея слои металлическаго сосуда наполняемаго постоянно смѣняющеюся горячею водою, протекающею изъ верхняго резурвуара и утекающею въ ведро поставленное внизу. Такъ какъ нагрѣваніе происходитъ сверху, то смѣшеніе слоевъ невозможно и верхніе слои какъ болѣе нагрѣтые и слѣдовательно болѣе легкіе, остаются на своемъ мѣстѣ, не опускаясь внизъ. Тѣмъ не менѣе термометры показываютъ нѣкоторое повышеніе температуры, свидѣтельствуя о распространеніи теплоты сверху внизъ. Такъ какъ дерево дурной проводникъ и кадка имѣла довольно широкіе размѣры, то передачу теплоты, распредѣляющейся весьма правильно, нельзя объяснить передачею черезъ стѣнки.

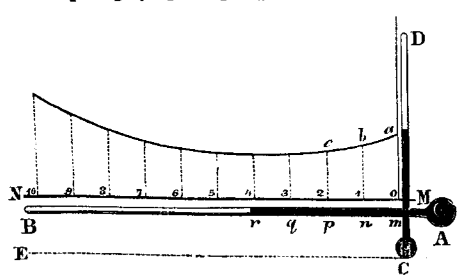
Переносъ теплоты и смѣшеніе слоевъ въ водѣ при температурахъ близкихъ къ 0° осложняется особенностію этого тѣла, состоящею въ томъ что вода при нагрѣваніи выше 0° не расширяется, какъ бы можно было ожидать по аналогіи съ другими тѣлами, а какъ увидимъ въ слѣдующемъ параграфѣ, сжимается до нѣкотораго предѣла, и начинаетъ расширяться лишь перейдя чрезъ него.

§ 159. Наибольшая плотность воды. Возьмемъ два

*) Членъ Парижской Академіи Наукъ, профессоръ въ Сорбоннѣ, умершій нѣсколько лѣтъ тому назадъ.

термометра, одинъ наполненный ртутью, а другой *водой* и сравнимъ ихъ показанія при постепенномъ нагрѣваніи, начиная отъ температуры 0°. Найдемъ, что въ то время какъ ртутная колонна будетъ повышаться, колонна воды станетъ постепенно *понижаться*, и явленіе будетъ продолжаться такъ приблизительно до 4°. Послѣ же 4° столбъ воды, при продолжающемся нагрѣваніи, будетъ повышаться подобно тому какъ повышается ртутная колонна. Этотъ опытъ свидѣтельствуетъ что вода при нагрѣваніи отъ 0° до + 4° *сжимается*, и имѣетъ около + 4° наибольшую плотность.

Фиг. 215 даетъ наглядное представленіе о расширеніи воды въ стеклянномъ резервуарѣ при разныхъ температурахъ. *AB*



Фиг. 215.

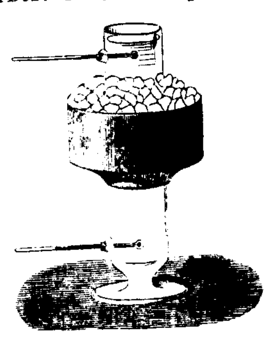
есть ртутный термометръ, въ которомъ ртуть при 0°, 1°, 2°... останавливается при точкахъ *m, n, p*... *DC* есть водяной термометръ; *a0*, *b1*, *c2*... высоты водяной колонны поверхъ линіи *NM* при 0°. 1°, 2° и т. д. Кривая *abc* изображаетъ законъ расширенія воды. Ее описала бы вершина водяной колонны, еслибы водяной термометръ перемѣщался параллельно себѣ, опираясь на линію *CE*, и пріобрѣталъ переходя послѣдовательно къ точкамъ *m, n, p*... температуры 0°, 1°, 2°... Видимъ что наименьшій объемъ, а слѣдовательно наибольшая плотность воды соотвѣтствуетъ приблизительно 4°.

При точномъ измѣреніи объема и плотности воды при разныхъ температурахъ, по термометрическому способу, не должно упускать изъ виду расширеніе стекляннаго резервуара.

Согласно изслѣдованіямъ Депре, 10 литровъ воды или 10000 куб. центиметровъ, занимаютъ объемъ:

при 0°	10001,27	куб. цент. имѣя плотность	0,999873
4°	10000,00	. . . .	1,000000
8°	10001,22	. . . .	0,999878
20°	10017,90	. . . .	0,998213

Слѣдующій опытъ объясняется именно тѣмъ обстоятельствомъ, что вода наибольшую плотность имѣетъ не при самой низкой температурѣ, какую можетъ имѣть. Фиг. 216 представляетъ стеклянный цилиндръ, снабженный двумя термометрами и около средины обложенный холодящею смѣсью (ледъ или снѣгъ въ смѣшеніи съ поваренною солью или хлористымъ кальціемъ). Допустимъ что первоначально вода влита въ цилиндръ при обыкновенной комнатной температурѣ. По мѣрѣ охлажденія, ртуть въ термометрахъ станетъ опускаться, но въ началѣ быстро понижается нижній термометръ, тогда какъ верхній падаетъ медленно. Такъ продолжается пока внизу температура сдѣлается + 4°. Затѣмъ быстрѣе пойдетъ пониженіе верхняго, продолжающееся до температуры 0°, тогда какъ охлажденіе нижняго будетъ происходить весьма медленно. Явленіе объясняется тѣмъ что, въ началѣ опыта, охлажденныя въ срединѣ сосуда частицы, дѣлаясь плотнѣе, падаютъ внизъ, заставляя нижнія подыматься кверху. Такъ продолжается пока вода достигнетъ 4°. Затѣмъ частицы охлаждающіяся въ срединѣ сосуда ниже 4°, уже не падаютъ внизъ, а мало-по-малу, подымаются вверхъ, такъ какъ имѣютъ надъ собою менѣе охлажденные, но болѣе плотные слои.



Фиг. 216.

§ 160. **Нагрѣваніе газообразныхъ тѣлъ.** Нагрѣваніе газа происходитъ отчасти отъ поглощенія проходящей чрезъ него теплоты, отчасти отъ переноса теплоты вслѣдствіе смѣшенія неодинаково нагрѣтыхъ слоевъ. *) Въ частности нагрѣваніе воздуха въ данномъ мѣстѣ, въ случаѣ безвѣтрія, зависитъ: 1) отъ поглощенія проходящихъ чрезъ него солнечныхъ лучей теплоты; 2) отъ поглощенія лучей теплоты, идущихъ отъ нагрѣтой солнцемъ почвы; 3) отъ прикосновенія съ нагрѣтой почвой; образующееся, отъ нагрѣванія снизу, смѣшеніе восходящихъ и нисходящихъ слоевъ разноситъ теплоту,

*) Есть опыты свидѣтельствующіе что газы, особенно водородъ, имѣютъ отчасти и собственную теплопроводность. Но вопросъ этотъ нельзя считать рѣшеннымъ.

пріобрѣтенную прикосновеніемъ. Когда воздухъ проходитъ надъ данною мѣстностью потокомъ, образуя *вѣтеръ*, то температура его опредѣляется главнымъ образомъ тѣмъ изъ какихъ мѣстностей, теплыхъ или холодныхъ, онъ приходитъ. Показанія температуры при различныхъ вѣтрахъ бываютъ различны, и вѣтрами главнымъ образомъ обусловливается погода.

§ 161. Температура воздуха на разныхъ мѣстахъ земнаго шара. Температура *воздуха* опредѣляется помощію термометра, помѣщеннаго въ тѣни (на сѣверной, обыкновенно, сторонѣ зданій) въ нѣкоторомъ удаленіи отъ предметовъ, которые пріобрѣтая температуру, отличную отъ температуры воздуха, могли бы чрезъ лучеиспусканіе вліять на термометръ. Термометръ выставленный на солнце показываетъ температуру значительно выше чѣмъ въ тѣни и нагрѣвается не только отъ прикасающихся къ нему частицъ воздуха, но и прямымъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей. Если въ теченіе сутокъ будемъ ежечасно записывать показанія термометра, сложимъ полученныя числа и раздѣлимъ сумму на 24, т.-е. на число сдѣланныхъ наблюденій, то будемъ имѣть *среднюю температуру сутокъ*. Опытъ показываетъ, что для опредѣленія средней температуры сутокъ достаточно въ теченіе сутокъ сдѣлать *три* наблюденія: около семи часовъ утра, около часу и девяти часовъ вечера, и вывести изъ нихъ ариѳметическое среднее. Полученное число будетъ очень мало отличаться отъ истиннаго средняго, какое получилось бы помощію двадцати четырехъ наблюденій. Складывая среднія температуры послѣдовательныхъ дней даннаго мѣсяца и раздѣливъ сумму на число дней получимъ среднюю температуру мѣсяца. Наконецъ сумма среднихъ температуръ мѣсяцевъ даннаго года въ данной мѣстности, раздѣленная на двѣнадцать даетъ *среднюю температуру года* въ этой мѣстности. Линіи на земной по-

верхности соединяющія точки равной средней годичной температуры называются *изотермами* или *изотермическими линіями*. Средняя температура Москвы есть +4°,1; изотермическая линія Москвы (55° 45′ С. шир.) на западъ отъ нашей столицы сильно повышается къ сѣверу, проходя близъ Стокгольма и Дронтгейма.

Изотерами называютъ линіи равной лѣтней температуры, *изохименами*—линіи равной зимней температуры. Вообще температура на земной поверхности понижается отъ экватора къ полюсамъ, причемъ около экватора температура круглый годъ почти одинакова, тогда какъ подъ большими широтами разность между температурой лѣта и зимы весьма значительна. Такъ, разности между средними температурами наиболѣе теплаго и наиболѣе холоднаго мѣсяцевъ суть приблизительно:

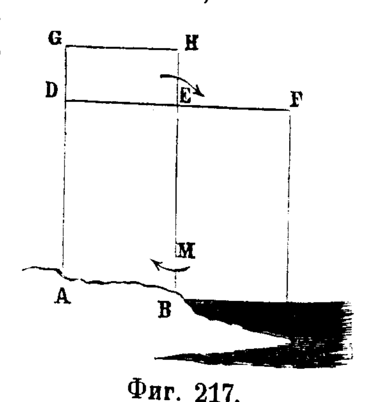
Въ Квито	1°,7
„ Палермо	13,9
„ Москвѣ	29,4
„ Якутскѣ	63,5

§ 162. Пониженіе температуры по мѣрѣ восхожденія вверхъ. Восхожденія на горы и поднятія на аэростатахъ свидѣтельствуютъ что воздухъ въ верхнихъ слояхъ холоднѣе чѣмъ въ нижнихъ и температура его уменьшается на каждые двѣсти или двѣсти пятьдесятъ метровъ высоты, приблизительно на градусъ такъ что подъ всѣми широтами на высокихъ горахъ царствуетъ такая низкая температура, что круглый годъ лежитъ снѣгъ (снѣжная линія). Въ Америкѣ, подъ экваторомъ, снѣжная линія находится на высотѣ 4700 метровъ, въ Пиринеяхъ на высотѣ 2700, въ Норвегіи 1570 метровъ.

Воздухъ вверху холоднѣе, будучи удаленъ отъ сравнительно нагрѣтаго тѣла, какое представляетъ собою земля (до земли достигаютъ двѣ трети солнечной теплоты, треть поглощается атмосферой) и находясь

ближе къ холодному пространству, облегающему землю съ ея атмосферой. Изслѣдованія Фурье показываютъ что эта температура ниже —50°; она называется температурою пространства; ее показывалъ бы термометръ, помѣщенный гдѣ-либо въ пространствѣ, гдѣ нынѣ находится солнечная система, еслибы притомъ *не было солнца.* Она была бы результатомъ обмѣна теплоты между термометромъ и небесными свѣтилами, за исключеніемъ солнца.

163. Причины производящія вѣтры. Главная причина, производящая вѣтры, есть разность температуръ въ двухъ сосѣднихъ мѣстностяхъ Пусть пространство AB (фиг. 217) нагрѣто болѣе, чѣмъ смежное пространство BC. Колонна воздуха $ADEB$, имѣвшая, когда температура была одинакова, равную высоту съ сосѣднею колонною $BEFC$, отъ нагрѣванія расширяется. Поднявшаяся выше уровня DEF масса воздуха $GDHE$ не встрѣчая съ боку препятствія, которое въ состояніи было бы ее удержать, разливается

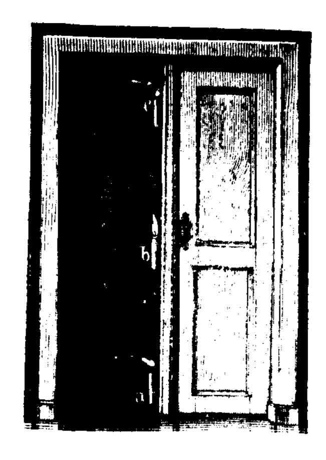


Фиг. 217.

надъ уровнемъ EF, образуя потокъ дующій по направленію стрѣлки. Давленіе холодной колонны увеличивается, давленіе теплой уменьшается, и въ какой-нибудь точкѣ M давленіе справа влѣво становится болѣе чѣмъ давленіе слѣва вправо. Образуется *вѣтеръ* по направленію нижней стрѣлки. На фиг. 217 холодная мѣстность изображена покрытою водою, теплая—сушею. Днемъ, при нагрѣваніи солнцемъ, вода дѣйствительно имѣетъ температуру ниже чѣмъ суша, и обра-

зуется вѣтеръ съ моря на берегъ. Ночью явленіе измѣняетъ характеръ. Суша охлаждается быстрѣе чѣмъ вода, и вѣтеръ дуетъ съ берега. Эти вѣтры, замѣчаемые когда время спокойно и нѣтъ общаго воздушнаго потока, называются *бризами.*

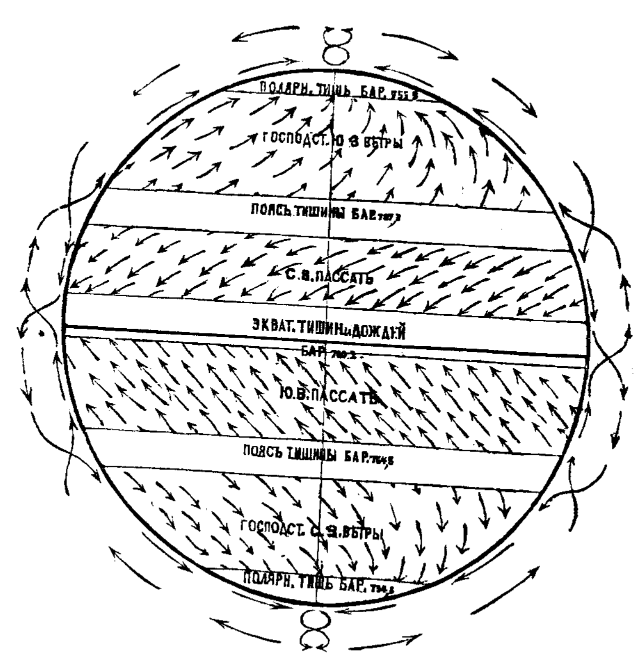
Слѣдующій опытъ въ маломъ видѣ представляетъ примѣръ образованія потоковъ вслѣдствіе разности температуръ двухъ сосѣднихъ массъ воздуха. Если пріотворить дверь изъ теплой комнаты въ холодную то пламя поднесенной (фиг. 218) свѣчи въ нижней части двери отклонится въ сторону теплой комнаты, въ верхней въ сторону холодной, свидѣтельствуя о направленіи образовавшихся потоковъ.


Фиг. 218.

§ 164. Постоянные вѣтры на земной поверхности. Пассаты; муссоны. Извѣстный американскій метеорологъ Мори изобразилъ общее примѣрное распредѣленіе вѣтровъ на земной поверхности (независимо отъ мѣстныхъ и случайныхъ уклоненій), въ діаграммѣ подобной приведенной на слѣдующей страницѣ (фиг. 219).

По экватору, преимущественно по сѣверной сторонѣ, простирается поясъ экваторіальной тишины, характеризующійся безвѣтріемъ, обиліемъ дождей и сравнительно малымъ давленіемъ воздушнаго столба. На сѣверъ и на югъ отъ этого пояса, градусовъ на тридцать разстояніемъ по широтѣ, находятся два другіе пояса безвѣтрія: одинъ въ сѣверномъ, другой въ южномъ полушаріяхъ, отличающіеся сравнительно сухимъ воздухомъ и значительнымъ барометриче-

свимъ давленіемъ. Наконецъ въ около-полярныхъ мѣстностяхъ встрѣчаемъ полярныя затишья. Воздухъ



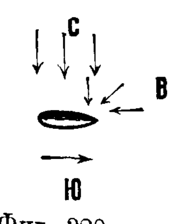
Фиг. 219.

отъ среднихъ поясовъ безвѣтрія, подъ дѣйствіемъ усиленнаго барометрическаго давленія, перетекаетъ въ страны гдѣ давленіе меньше. Въ каждомъ полушаріи образуются по два потока: одинъ направляющійся отъ средняго пояса въ экваторіальныя страны, другой отъ того же пояса въ полярныя страны. Изъ этихъ потоковъ экваторіальные особенно отличаются постоянствомъ, и дующій въ сѣверномъ полушаріи обратилъ на себя вниманіе еще со времени Колумба. Они именуются *пассатами*. Потокъ идущій въ сѣверномъ полушаріи дуетъ съ сѣверо-востока—*сѣверо-*

восточный пассатъ; въ южномъ съ юго-востока—*юго-восточный пассатъ*. Потоки направляющіеся въ полярныя страны не такъ рѣзко замѣтны какъ экваторіальные. Они дуютъ въ сѣверномъ полушаріи *съ юго-запада*, въ южномъ *съ сѣверо-запада*. Таково примѣрное распредѣленіе вѣтровъ на земной поверхности, вѣрно изображающее общій характеръ явленія, представляющаго въ частностяхъ, особенно на сушѣ, значительныя уклоненія отъ указаннаго типа. Самыя полосы безвѣтрія не суть правильные пояса которые бы облекали землю параллельно экватору; онѣ не имѣютъ строгихъ границъ и постояннаго положенія, а перемѣщаются въ извѣстныхъ предѣлахъ и притомъ различно въ разныхъ своихъ частяхъ.

Англійскій ученый Гадлей (Hadley) первый далъ удовлетворительное (въ 1735 г.) объясненіе происхожденія и направленія пассатныхъ вѣтровъ; и начала имъ указанныя: нагрѣвающее дѣйствіе солнца въ связи съ обращеніемъ земли около оси, и нынѣ служатъ основаніемъ для объясненія главныхъ атмосферныхъ потоковъ. „Всѣ согласны, говоритъ Гадлей, что дѣйствіе солнца есть причина производящая пассатные вѣтры. Воздухъ въ мѣстахъ (экваторіальныхъ) гдѣ лучи солнца падаютъ почти перпендикулярно сильно нагрѣвается и чрезъ это разрѣжается. Холодный воздухъ сосѣднихъ мѣстъ, вслѣдствіе болѣе значительныхъ плотности и вѣса, сдвигаетъ болѣе нагрѣтый, заставляя его подыматься къ верху". Вслѣдствіе этой причины, если бы земля была въ покоѣ, произошли бы два потока по направленію къ экватору, одинъ съ сѣвера, другой съ юга. Но земля вмѣстѣ съ своею атмосферой обращается около оси и притомъ поверхность ея,—такъ какъ „параллели по мѣрѣ приближенія къ экватору постепенно расширяются и длина экватора превышаетъ, напримѣръ, длину параллельнаго круга тропиковъ въ отношеніи 1000 къ 917,—движется подъ эква-

торомъ значительно скорѣе чѣмъ подъ тропиками. Отсюда слѣдуетъ что воздухъ, идущій отъ тропиковъ къ экватору, имѣя меньшую скорость чѣмъ части земли куда онъ приходитъ, будетъ имѣть относительное движеніе противное суточному движенію земли въ этихъ мѣстахъ (будетъ отставать отъ нихъ). Это относительное движеніе, слагаясь съ движеніемъ по направленію къ экватору, произведетъ *сѣверо-восточный* вѣтеръ по одну сторону и *юго-восточный* по другую сторону экватора". Потокъ идетъ, напримѣръ, съ сѣвера какъ показываютъ стрѣлки (фиг. 220); наблюдатель, перемѣщаясь слѣва вправо съ большею скоростію, чѣмъ какъ перемѣщается въ этомъ направленіи весь потокъ, испытываетъ дѣйствіе этого потока не только по направленію отъ сѣвера къ югу, но также и по направленію отъ востока къ западу, такъ что потокъ кажется ему дующимъ съ сѣверо-востока, какъ показываетъ стрѣлка. Въ свою очередь, нагрѣтый экваторіальный воздухъ подымается вверхъ и поверхъ пассатовъ течетъ къ полюсамъ. При этомъ онъ переходитъ изъ экваторіальныхъ странъ въ страны гдѣ земная поверхность движется медленнѣе. Подвигаясь къ сѣверу и югу, этотъ воздухъ все болѣе и болѣе обгоняетъ поверхность земли въ ея суточномъ движеніи и принимаетъ постоянно все болѣе и болѣе западное направленіе. Опускаясь наконецъ на поверхность гдѣ-нибудь въ промежуткѣ между тропиками и полюсами онъ движется по ней какъ *юго-западный* вѣтеръ въ сѣверномъ полушаріи и какъ *сѣверо-западный* въ южномъ.



Фиг. 220.

Полярные потоки идущіе къ экватору, сталкиваясь въ его сосѣдствѣ, образуютъ экваторіальный поясъ безвѣтрія. Мѣста гдѣ начинается смѣна потоковъ и

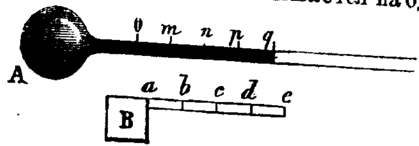
верхніе спускаются внизъ суть средніе поясы тишины и усиленнаго барометрическаго давленія.

Въ Индѣйскомъ океанѣ, особенно въ сосѣдствѣ большаго азіатскаго материка, явленіе пассатовъ измѣняетъ свой характеръ. Согласно теоретическому распредѣленію вѣтровъ, мѣстности эти находятся въ области сѣверо-восточнаго пассата. Сѣверо-восточный вѣтеръ дѣйствительно дуетъ здѣсь въ продолженіе зимнихъ мѣсяцевъ, когда солнце на небесномъ сводѣ находится въ южномъ полушаріи. Это *сѣверо-восточный муссонъ*. Но когда солнце переходитъ въ сѣверное полушаріе и прилегающій къ океану большой материкъ чрезвычайно сильно нагрѣвается, то полоса наибольшаго разрѣженія и наибольшей нагрѣтости воздуха оказывается не близь экватора, а значительно сѣвернѣе отъ него. Образуется воздушный потокъ отъ экватора къ сѣверу. Потокъ этотъ переходитъ изъ странъ движущихся быстрѣе въ страны гдѣ движеніе медленнѣе, получаетъ, вслѣдствіе избытка скорости уклоненіе, къ востоку и производитъ вѣтеръ дующій съ юго-запада: *юго-западный муссонъ*, преобладающій въ лѣтнее полугодіе.

Прибавимъ что стрѣлки изображенныя на контурѣ діаграммы имѣютъ назначеніемъ дать понятіе о гипотезѣ Мори, полагающаго что сталкивающіеся въ поясахъ безвѣтрія потоки проникаются взаимно, и въ атмосферѣ существуетъ постоянное круговращеніе воздушныхъ частицъ переходящихъ изъ полушарія въ полушаріе, изъ потокъ въ потока. Предположеніе это, впрочемъ, весьма нуждается въ подтвержденіи.

§ 165. Точное опредѣленіе расширенія тѣлъ: коеффиціентъ расширенія. Имѣемъ нѣкоторый объема тѣла, напримѣръ кубическій метръ, при 0°. Возвысимъ температуру этого тѣла отъ 0° до 100°. Объемъ его увеличится и полученное приращеніе объема будетъ вообще нѣкоторая доля первоначальнаго объема, положимъ напримѣръ $^1/_{70}$. Если раздѣлимъ это число на число градусовъ на какое нагрѣто тѣло, т.-е. въ нашемъ случаѣ на сто, то получимъ такъ называемый *средній коеффиціентъ* расширенія тѣла на одинъ градусъ между 0° и 100°. Въ нашемъ примѣрѣ это будетъ $^1/_{7000}$. Еслибы расширеніе тѣла слѣдовало одинаковому закону съ расширеніемъ ртути въ термометрѣ, то средній коеффиціентъ расширенія выразилъ бы истинное приращеніе объема тѣла при нагрѣваніи на каждый одинъ градусъ. Дѣйствительно, понятіе о градусѣ температуры мы получаемъ, раздѣляя видимое приращеніе объема ртути въ термометрѣ, при нагрѣваніи отъ 0° до 100°, на сто *равныхъ* частей и разсуждая такъ: когда въ данномъ случаѣ объемъ ртути въ термометрѣ увеличится не на сто, а на 20 такихъ частей, то температура будетъ 20° и т. д. Еслибы данное тѣло расширялось по тому же закону какъ ртуть въ термометрѣ,

то когда ртуть (фиг. 221) получала бы равныя приращенія *от, тп пр*... показывая что температура возвышается на одинъ, два, три,



Фиг. 221.

градуса, тѣло (изображенное * для наглядности въ видѣ четыреугольника получающаго малые прибавки) также получало бы *равныя* приращенія объема ab, bc, cd.. изъ которыхъ каждый былъ бы сотою долею всего приращенія отъ 0° до 100°. Но опытъ показываетъ, что различныя тѣла не слѣдуютъ строго одинакому закону расширенія съ ртутью въ термометрѣ; ихъ приращенія ab, bc, cd..., соотвѣтствующія равнымъ приращеніямъ ртути въ термометрѣ, неравны между собою; среднiй коеффиціентъ не есть, слѣдовательно, истинный и послѣднiй, не есть величина постоянная. Но такъ какъ отступленія эти не велики, а самыя приращенія такъ малы, что и опредѣлить ихъ, для каждаго градуса отдѣльно, съ точностію невозможно, то при рѣшеніи практическихъ задачъ принимаютъ среднiй коеффиціентъ за истинный въ предѣлахъ температуры, для которыхъ онъ опредѣленъ. Прибавимъ, что самый случай расширенія ртути въ термометрѣ, на основаніи котораго опредѣляются температуры, далеко не есть простѣйшiй случай расширенія, такъ какъ въ термометрѣ не только расширяется ртуть, но и увеличивается вмѣстимость стеклянной оболочки, заключающей въ себѣ ртуть. Два эти расширенія не слѣдуютъ строго одному закону; отсюда два термометра свѣренные при 0° и 100°, если они не изъ одинаковаго стекла, выше 100° даютъ разнящіяся показанія.

§ 166. Зная объемъ тѣла при 0° и его коеффиціентъ расширенія найти объемъ при $t°$. Пусть при 0° объемъ тѣла есть V_0. Спрашивается какъ великъ будетъ объемъ V_t этого тѣла при $t°$, если коеффиціентъ расширенія его есть δ. Разсуждаемъ такъ. Коеффиціентъ расширенія есть дробь показывающая на какую долю объема при 0° расширяется тѣло при нагрѣваніи на одинъ градусъ. Слѣд. если объемъ тѣла при 0° есть V_0, то при 1° онъ будетъ $V_0 + \delta V_0$, при 2° будетъ $V_0 + 2\delta V_0$, при $t°$ будетъ $V_0 + \delta V_0 . t$ или $V_0(1 + \delta t)$. Это и есть объемъ при $t°$, то-есть V_t. Итакъ

$$V_t = V_0\,(1 + \delta t)$$

*) Изображеніе условное; въ дѣйствительности, понятно, расширеніе тѣла происходитъ по всѣмъ направленіямъ.

Слѣд. *объемъ тѣла при какой-нибудь температурѣ равняется объему при 0° помноженному на соотвѣтствующiй биномъ расширенія.*

§ 167. Вычисленіе, на основаніи коеффиціента расширенія, плотности тѣла при разныхъ температурахъ. Вѣсъ P тѣла, котораго объемъ V, плотность D выражается какъ мы знаемъ (§ 20) формулою

$$P = VD$$

Формула относится къ метрической системѣ мѣръ, при которой вѣсъ единицы объема воды при + 4° (наибольшая плотность воды) принимается за единицу вѣса (граммъ если объемъ равняется кубич. сантиметру, килограммъ если объемъ есть кубическiй дециметръ). Число D выражаетъ плотность, т.-е. отношеніе вѣса нѣкотораго объема тѣла къ вѣсу равнаго объема воды при + 4°. При этомъ, числа вносимыя въ таблицы плотностей условились относить къ случаю когда тѣло имѣетъ температуру 0°.

Спрашивается: зная плотность тѣла при 0°, найти его плотность при $t°$.

Сравнимъ два тѣла одинакаго вѣса, но разной плотности. Вѣсъ перваго выразится формулою

$$P = VD$$

Вѣсъ втораго, котораго плотность D', выразится подобною же формулой

$$P = V'D'.$$

гдѣ V' есть соотвѣтствующiй объемъ этого тѣла. Раздѣливъ одно равенство на другое, получимъ

$$\frac{V}{V'} = \frac{D'}{D}$$

Слѣд. *при томъ же вѣсѣ, объемы двухъ тѣлъ обратно пропорціональны ихъ плотностямъ.*

Одно и то же тѣло при двухъ разныхъ температурахъ можно разсматривать какъ два тѣла, различной плотности, но одного вѣса. При 0° плотность есть D, означенная въ таблицахъ; при $t°$, вслѣдствіе расширенія тѣла отъ нагрѣванія, плотность его дѣлается меньше. Назовемъ ее буквою D_t. Вѣсъ P останется тотъ же въ обоихъ случаяхъ и выразится, въ первомъ, формулою

$$P = VD.$$

во второмъ

$$P = V'D_t$$

гдѣ V' объемъ тѣла при t^0. Но мы знаемъ что

$$V' = V\,(1 + \delta t)$$

гдѣ δ коэффиціентъ расширенія. Слѣдовательно формулы выражающія вѣсъ P въ двухъ случаяхъ будутъ:

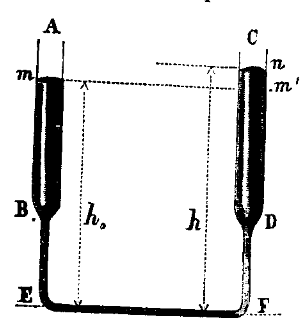
$$P = VD \text{ и } P = V\,(1+\delta t)\,D_t$$

Отсюда, раздѣливъ одну формулу на другую, найдемъ

$$D_t = \frac{D}{1+\delta t}$$

Слѣд. *плотность тѣла при какой-нибудь температурѣ равняется плотности при 0° дѣленной на биномъ расширенія.*

§ 168. Коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути. Наблюдаемое въ термометрѣ расширеніе ртути есть, какъ не разъ сказано, расширеніе видимое. Весьма важно знать *абсолютное* расширеніе ртути, т.-е. истинное приращеніе объема ртути при нагрѣваніи, независимо отъ сосуда, въ которомъ она находится. Коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути элементъ чрезвычайно важный для практическаго рѣшенія всѣхъ вопросовъ о расширеніи жидкихъ и твердыхъ тѣлъ. Французскіе ученые Дюлонгъ и Пти (1818) основали его опредѣленіе на слѣдующемъ началѣ. Въ двухъ сообщающихся сосудахъ (фиг. 222), соединенныхъ тонкимъ каналомъ, находится ртуть, въ одномъ при температурѣ 0°, въ другомъ при какой-нибудь довольно высокой температурѣ t^0. Очевидно, имѣемъ какъ бы двѣ жидкости, изъ которыхъ одной плотность есть D, другой $\frac{D}{1+kt}$, гдѣ k коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути. Пусть H есть высота холодной колонны ртути, H' высота теплой колонны, считаемыя отъ тонкаго соединительнаго канала. Для равновѣсія, высота H' должна быть больше H, и по закону равновѣсія двухъ жидкостей разной плотности въ сообщающихся сосудахъ, должно удовлетворяться отношеніе:



Фиг. 222.

$$H' : H = D : \frac{D}{1+kt} \quad \text{или}$$

$$H' : H = 1+kt, \text{ откуда } k = \frac{H'-H}{Ht}$$

Слѣд. измѣривъ температуру t^0, высоту холодной колонны и разность высотъ теплой и холодной колоннъ, найдемъ коэффиціентъ k. Эта величина въ предѣлахъ между 0° и 100° есть $^1/_{5550}$. Слѣд. ртуть при возвышеніи температуры отъ 0° до 100° увеличивается приблизительно на $^1/_{56}$ своего объема при 0°.

Приведемъ нѣсколько примѣровъ коэффиціентовъ расширенія другихъ тѣлъ въ тѣхъ же предѣлахъ отъ 0° до 100°.

Желѣзо . . . $^1/_{28200}$
Платина. . . $^1/_{37700}$
Мѣдь . . . . $^1/_{27400}$
Стекло . . . отъ $^1/_{36200}$ до $^1/_{44000}$

§ 169. Опредѣленіе вмѣстимости сосуда помощію взвѣшиванія наполняющей его жидкости. Пусть P есть вѣсъ жидкости, напримѣръ ртути, наполняющей данный сосудъ при t^0. Не трудно опредѣлить объемъ этой ртути, очевидно, равный вмѣстимости сосуда который она наполняетъ. Такъ какъ вѣсъ равняется объему помноженному на плотность, то изъ формулы $P = VD$ получаемъ

$$V = \frac{P}{D_t} \text{ гдѣ } D_t \text{ есть плотность ртути при } t^0.$$

А мы знаемъ что

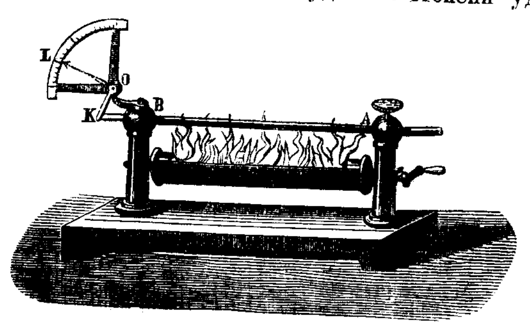
$$D_t = \frac{D}{1+kt}$$

гдѣ D есть табличная плотность ртути, то-есть 13,6. Такъ какъ $k = {}^1/_{5550}$, то имѣемъ

$$V = \frac{P}{13{,}6} \cdot \frac{5550+t}{5550}$$

§ 170. Линейное расширеніе твердыхъ тѣлъ. Мы говорили о приращеніяхъ объема тѣлъ при нагрѣваніи, то-есть о такъ называемомъ *кубическомъ расширеніи*. Въ практикѣ по отношенію къ твердымъ тѣламъ не столько важно знать увеличеніе объема сколько *удлинненіе*, какое испытываетъ при нагрѣваніи полоса даннаго твердаго тѣла (это особенно важно въ приложеніи къ линейкамъ употребляемымъ въ качествѣ мѣръ длины), т.-е. *линейное расширеніе* тѣла. Фиг. 223 изображаетъ снарядъ употребляемый для доказательства удлиненія полосъ при нагрѣваніи. Полоса AB однимъ концомъ укрѣплена неподвижно, а другимъ, свободно проходящимъ чрезъ столбикъ B, упирается въ короткое плечо ломанаго рычага; при

удлиненіи она толкаетъ это плечо и передвигаетъ стрѣлку,
по перемѣщенію которой можно судить о степени удлиненія.



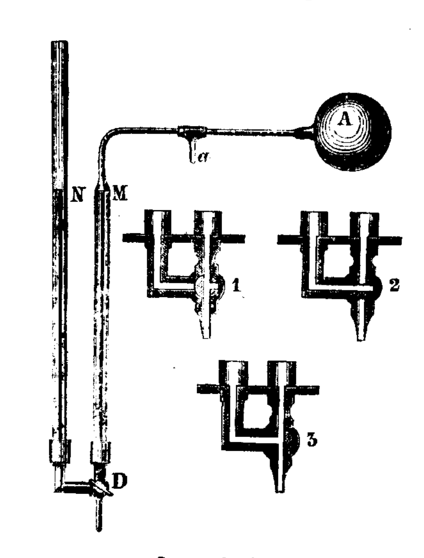
Фиг. 223.

Опредѣливъ удлиненіе полосы при нагрѣваніи отъ 0° до t^0, най-
демъ вообще что оно составляетъ нѣкоторую весьма малую долю
длины полосы при 0°. Такъ въ случаѣ платины при нагрѣваніи
отъ 0° до 100° полоса удлиняется на $^1/_{1100}$ первоначальной дли-
ны. Раздѣливъ это удлиненіе на число градусовъ t, въ нашемъ
примѣрѣ на 100, получимъ *коеффиціентъ линейнаго расши-*
ренія, т.-е. дробь, показывающую какое приращеніе получаетъ
единица длины тѣла при нагрѣваніи на одинъ градусъ. Коеф-
фиціенты линейнаго расширенія слѣдующихъ тѣлъ суть:

Платины	$^1/_{111000}$
Мѣди	$^1/_{58000}$
Желѣза	$^1/_{80000}$
Дерева (сосна)	$^1/_{300000}$

Цинкъ расширяется болѣе другихъ металловъ. Сравнивая ко-
еффиціенты кубическаго и линейнаго расширенія какого-нибудь
тѣла видимъ что кубическій коеффиціентъ болѣе линейнаго при-
близительно *втрое*. Это замѣчаніе имѣетъ теоретическое основа-
ніе. Допустимъ, что тѣло, будучи однороднымъ, расширяется оди-
наково по всѣмъ направленіямъ и вообразимъ что оно есть кубъ,
котораго каждая сторона при 0° есть единица. Объемъ такого
куба есть также единица. Нагрѣемъ его на одинъ градусъ. Каждая
сторона удлинится и будетъ равна $1+\alpha$, гдѣ α коеффиціентъ
линейнаго расширенія. Объемъ куба будетъ $(1+\alpha)^3$ или $1+3\alpha$
$+3\alpha^2+\alpha^3$. Такъ какъ α малая дробь, то квадратомъ и кубомъ
ея можно пренебречь, и принять что расширенный объемъ бу-
детъ $1+3\alpha$. Величина 3α показывающая приращеніе единицы
объема при нагрѣваніи на одинъ градусъ, есть *коеффиціентъ*
кубическаго расширенія. Видимъ что онъ втрое болѣе линей-
наго. Зная длину L_0 полосы при 0° и коеффиціентъ линейнаго
расширенія α, легко опредѣлить длину L_t при t^0, руководству-
ясь разсужденіемъ подобнымъ тому какимъ опредѣляли объемъ
при t^0 зная объемъ при 0° (§ 166). Получимъ $L_t = L_0(1+\alpha t)$.

§ 171. Расширеніе газовъ. Фиг. 224 даетъ понятіе о глав-
ной методѣ, помощію которой изслѣдуется расширеніе газо-
образныхъ тѣлъ. Резервуаръ A заключающій въ себѣ газъ сообщается съ двухколѣнною трубкою, наполненной ртутью, отдѣляющею газъ отъ окружающаго воздуха. Объемъ газа зависитъ отъ двухъ условій: отъ давленія, подъ какимъ онъ находится и отъ температуры какую имѣетъ. При *постоянной* температурѣ объемъ зависитъ отъ давленія по закону Маріотта. Но если температура измѣняется то и при *одномъ и томъ же давленіи* газъ занимаетъ разный объемъ, смотря по тому до какой степени онъ нагрѣтъ. Въ снарядѣ изображенномъ на фиг. 224, давленіе подъ какимъ газъ находится



Фиг. 224.

опредѣляется разностью высоты ртути въ колѣнахъ трубки.
Если высота эта одинакова какъ въ томъ такъ и въ другомъ
колѣнѣ, то газъ, находится подъ атмосфернымъ давленіемъ и
имѣетъ упругость равную упругости внѣшняго воздуха. На-
грѣемъ резервуаръ (первоначально находящійся, допустимъ, при
температурѣ 0°) до нѣкоторой температуры t^0. Газъ расширит-
ся; колонна ртути въ колѣнѣ MD нѣсколько опустится, а въ
открытомъ колѣнѣ подымется. Но выпустивъ помощію кра-
на D *) нѣкоторое количество ртути, легко достичь что въ обо-
ихъ колѣнахъ ртуть станетъ вновь на одной высотѣ, и газъ
вновь будетъ находиться подъ давленіемъ атмосферы. Измѣ-
ривъ на сколько опустилась ртуть въ колѣнѣ MD и зная отно-
шеніе внутренняго объема этой трубки къ объему резервуара
не трудно опредѣлить приращеніе объема газа вслѣдствіе на-
грѣванія и слѣд. опредѣлить его коеффиціентъ расширенія.
Сдѣлавъ колонну ртути въ открытомъ колѣнѣ выше чѣмъ въ

*) Кранъ этотъ, какъ видно на отдѣльныхъ изображеніяхъ,
имѣетъ три вѣтви позволяющія, смотря по его положенію, то
привести колѣна M и N въ сообщеніе, то выпустить ртуть
изъ того или другаго колѣна или вмѣстѣ изъ обоихъ.

сообщающемся съ резервуаромъ, будемъ имѣть газъ подъ давленіемъ большимъ атмосфернаго и можемъ изслѣдовать расширеніе такого сжатаго газа. Можно также, заставляя газъ не смотря на нагрѣваніе сохранять неизмѣнный объемъ (для этого надо приливать ртути въ открытое колѣно), изучать возрастаніе его упругости по мѣрѣ нагрѣванія. Наоборотъ, зная законъ возрастанія упругости газа при возвышеніи температуры, можно воспользоваться снарядомъ въ качествѣ *воздушнаго термометра*, для опредѣленія температуры.

При точныхъ опредѣленіяхъ не должно упускать изъ виду, что резервуаръ въ свою очередь расширяется при нагрѣваніи, но такъ какъ расширеніе газовъ несравненно значительнѣе расширенія стекла, то вліяніе это незначительно.

Французскій ученый Гей-Люссакъ изъ своихъ опытовъ (въ 1802 г.) надъ расширеніемъ газовъ отъ нагрѣванія при постоянномъ давленіи, вывелъ заключеніе что *есѣ газы*, и притомъ въ сжатомъ ли или разрѣженномъ состояніи они находятся, *расширяются одинаково*. При возвышеніи температуры на каждый градусъ данный объемъ газа получаетъ приращеніе равное $^1/_{273}$ объема занимаемаго имъ при 0°. Такимъ образомъ если данное количество какого-нибудь газа при 0° занимаетъ объемъ V_0 то объемъ его при $t°$ или V_t получимъ разсуждая какъ въ § 166. Будемъ имѣть:

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t\right) \text{ или } V_t = V_0 \left(\frac{273+t}{273}\right).$$

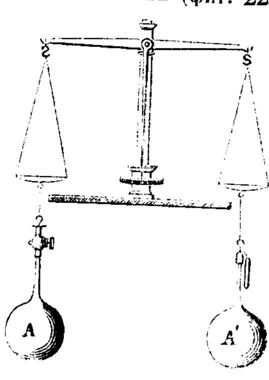
Дробь $^1/_{273}$ или 0,00366 объема при 0° есть *коеффиціентъ расширенія газовъ*. Законъ Гей-Люссака можно выразить такъ: коеффиціентъ расширенія газовъ есть величина постоянная, одинаковая для всѣхъ газовъ, независимая отъ ихъ плотности и температуры. Изысканія ученыхъ послѣ Гей-Люссака и въ особенности изслѣдованія современнаго намъ французскаго ученаго Реньйо показали что законъ этотъ имѣетъ только приближенное значеніе. Отступленія, впрочемъ, въ случаѣ постоянныхъ газовъ (не способныхъ обращаться въ жидкое состояніе) весьма незначительны и безъ большой погрѣшности его можно разсматривать (подобно закону Маріотта) какъ точное выраженіе явленія.

Таже дробь $^1/_{273}$ или 0,00366 выражаетъ приращеніе на каждый градусъ, упругости газа нагрѣваемаго *при постоянномъ объемѣ*, т.-е. когда не дозволяемъ ему расширяться. Каждый градусъ нагрѣванія усиливаетъ давленіе газа на ограничивающія его стѣнки на $^1/_{273}$ долю того давленія какое газъ оказывалъ имѣя температуру 0°. Если давленіе даннаго количества газа при 0° есть H, то при $t°$ оно будетъ $H + {}^1/_{273}\, H \cdot t = H(1 + {}^1/_{273}\, t)$.

§ 172. Плотность газовъ. Плотностію мы назвали отношеніе вѣса тѣла къ вѣсу равнаго объема воды, взятой при 4°; тогда,

какъ тѣло при 0°. Если дѣло идетъ о газообразныхъ тѣлахъ, то мы должны прибавить еще условіе относительно давленія, такъ какъ при той же температурѣ, но при разныхъ давленіяхъ, газъ имѣетъ различную плотность, вычисляемую по закону Маріотта. Условились за нормальное давленіе принимать давленіе измѣряемое ртутнымъ столбомъ въ 760 миллиметровъ.

Чтобъ опредѣлить вѣсъ даннаго объема воздуха при 0° и давленіи 760 миллиметровъ, Реньйо привѣшивалъ къ чашкѣ вѣсовъ баллонъ, изъ котораго предварительно былъ выкаченъ воздухъ, и уравновѣшивалъ его другимъ баллономъ (фиг. 225), внѣшній объемъ котораго равенъ внѣшнему объему перваго (ихъ уравниваютъ, прибавляя къ меньшему одну или двѣ стеклянныя трубки). Очевидно что баллоны эти претерпѣваютъ одинаковыя потери вѣса въ воздухѣ, взаимно уничтожающіяся при всѣхъ измѣненіяхъ атмосфернаго давленія, температуры и влажности. Затѣмъ наполняютъ пустой баллонъ при температурѣ 0° сухимъ воздухомъ или газомъ, вѣсъ котораго требуется опредѣлить. Равновѣсіе нарушится, и для возстановленія его на вторую чашку надо положить нѣкоторый грузъ, который и выразитъ прямо вѣсъ впущеннаго воздуха или газа.



Фиг. 225.

Опыты дали слѣдующія величины для вѣса кубическаго метра воздуха и другихъ газовъ при 0° и 760 миллиметрахъ давленія:

Воздухъ	1,2932	килограммовъ
Кислородъ	1,4298	„
Водородъ	0,0896	„
Углекислота	1,9774	„

Раздѣливъ эти числа на первое изъ нихъ, найдемъ плотность газовъ сравнительно съ воздухомъ, а именно:

Воздухъ	1,0000
Кислородъ	1,1056
Водородъ	0,0693
Углекислота	1,5290

Такъ какъ плотность всѣхъ вообще газовъ въ зависимости отъ давленія и температуры измѣняется по одинаковымъ законамъ съ воздухомъ (законамъ Маріотта и Гей-Люссака), то отношеніе вѣса даннаго газа къ вѣсу равнаго объема воздуха

взятаго при той же температурѣ и при томъ же давленіи, какъ и газъ, остается во всѣхъ случаяхъ одинаковымъ. Другими словами: *сравнительная съ воздухомъ плотность газа есть величина постоянная.*

§ 172. Вѣсъ объема V воздуха или газа при t^0 и давленіи H. Кубическій метръ воздуха при 0° и давленіи 760 милл. вѣситъ 1,293 килограмма. Найдемъ вѣсъ кубическаго же метра воздуха при давленіи H и температурѣ t^0. Еслибы температура оставалась 0°, давленіе же было H, то (такъ какъ по закону Маріотта плотность газа пропорціональна давленію) кубическій метръ вѣсилъ бы $1{,}293^k \cdot \frac{H}{760}$. Это количество воздуха при t^0, вслѣдствіе расширенія, займетъ объемъ $1 + \frac{1}{273} t$, и слѣдовательно одинъ метръ будетъ вѣсить

$$1{,}293^k \cdot \frac{H}{760} : \left(1 + \frac{1}{273} t\right)$$

или, назвавъ этотъ вѣсъ кубическаго метра при давленіи H и температурѣ t^0 буквою p, будемъ имѣть

$$p = 1{,}293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{273}{273 + t}.$$

Вѣсъ V кубическихъ метровъ воздуха, при нашихъ условіяхъ, получится, если умножить эту величину на V. Онъ будетъ

$$P = 1{,}293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot V$$

Еслибы дѣло шло не о воздухѣ, а о какомъ-либо другомъ газѣ, то вмѣсто 1,293 кил. надо было бы взять величину соотвѣтствующую этому газу, и вмѣсто $^1/_{273}$ ввести коэффиціентъ расширенія разсматриваемаго газа. Но такъ какъ коэффиціенты расширенія газовъ весьма близки между собою, то для всѣхъ газовъ слѣдующихъ закону Маріотта можно пользоваться формулой относящеюся къ воздуху, помноживъ ее на сравнительную съ воздухомъ плотность газа D. Такимъ образомъ вѣсъ Q объема V какого-нибудь газа, плотность котораго по отношенію къ воздуху есть D, будетъ

$$Q = 1{,}293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot V.D$$

§ 173. Задачи на расширенія тѣлъ. 1) Приложеніе формулъ кубическаго и линейнаго расширенія тѣлъ къ рѣшенію частныхъ вопросовъ о длинѣ, объемѣ и плотности при разныхъ температурахъ. 2) Зная коэффиціентъ расширенія тѣла по одной термометрической скалѣ выразить его по другой. 3) При какой температурѣ куб. метръ воздуха вѣситъ 1 килограммъ подъ давленіемъ H? 4) Опредѣлить объемъ занимаемый килограм-

момъ воздуха при 0° и 760 милл. и вообще объемъ занимаемый p граммами воздуха или другаго газа при t^0 и давленіи H. 5) Подъ какимъ давленіемъ должна находиться угольная кислота для того чтобы плотность ея при этой температурѣ равнялась плотности водорода при t'^0 и давленіи H. 6) Баллонъ, вмѣщающій въ себѣ V литровъ (куб. дециметровъ) воздуха подъ давленіемъ 760 миллим., приводится въ сообщеніе съ другимъ пустымъ баллономъ, вмѣстимость котораго равняется V' литровъ. Спрашивается, какъ великъ вѣсъ воздуха, оставшагося въ первомъ баллонѣ (во время опыта температура предполагается постоянною и равною t^0).

§ 174. Приведеніе къ 0° показаній барометра. Если *при томъ же* атмосферномъ давленіи имѣемъ нѣсколько барометровъ, ртуть въ которыхъ находится при разныхъ температурахъ, то они покажутъ различную высоту ртутнаго столба. За истинную мѣру условились принимать высоту барометра, котораго ртуть при 0°. Если, напримѣръ, одинъ барометръ заключаетъ въ себѣ ртуть при 0°, а другой при t^0, то высота послѣдняго H_t будетъ болѣе высоты H_0 перваго, и притомъ такъ какъ эти колонны уравновѣшиваютъ одно и то же давленіе, то высоты ихъ должны быть обратно пропорціональны соотвѣтствующимъ плотностямъ.

$$H_t : H_0 = D : \frac{D}{1 + kt}$$

Откуда легко опредѣлить H_0, то-есть приведенную къ 0° высоту барометра. Такъ какъ $k = {}^1/_{5550}$, то получимъ

$$H_0 = H_t \cdot \frac{5550}{5550 + t}.$$

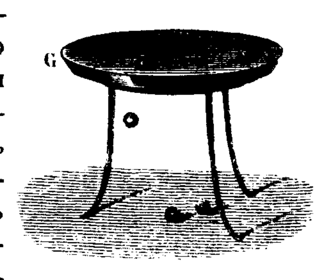
Прибавимъ что высота ртути въ барометрѣ мѣряется помощію дѣленій, сдѣланныхъ на его металлической оправѣ, которая въ свою очередь расширяется отъ тепла. Дѣленія эти во французскихъ барометрахъ представляютъ истинные миллиметры при 0°. Потому если барометръ находится при t^0 и мы читаемъ на его скалѣ H миллиметровъ, то это обозначаетъ $\frac{H}{1 + \alpha k}$ миллиметровъ, гдѣ α коэффиціентъ линейнаго расширенія, матеріала изъ котораго сдѣлана скала.

§ 175. Понятіе о количествѣ теплоты. Удѣльная теплота. Кромѣ температуры есть другое понятіе, играющее столь же важную роль въ ученіи о теплотѣ: *количество теплоты*. Понятіе о *количествѣ теплоты* можно составить независимо отъ теоретическаго представленія о томъ что̀ такое теплота. Теплота есть

причина нагрѣванія тѣла, и чѣмъ болѣе тѣло нагрѣвается, тѣмъ, очевидно, болѣе требуется теплоты. Условимся количество теплоты, которое потребно для нагрѣванія единицы вѣса воды на одинъ градусъ, считать *единицею* теплоты. Тогда съ этою единицею мы можемъ сравнивать всѣ другія количества теплоты и, вопервыхъ, тѣ количества, которыя потребны дабы нагрѣть на одинъ градусъ по единицѣ вѣса другихъ тѣлъ, напримѣръ, золота, ртути, стекла и т. д. Количество тепла, потребное для нагрѣванія единицы вѣса даннаго тѣла на одинъ градусъ, называется *удѣльною теплотою* или *теплоемкостію* этого тѣла. Если тѣмъ количествомъ тепла, какое потребно для нагрѣванія килограмма воды, можно нагрѣть 5 килограммовъ даннаго тѣла, то удѣльная теплота этого тѣла есть $^1/_5$ и т. д.

Идея объ удѣльной теплотѣ, утвердившаяся въ наукѣ главнымъ образомъ благодаря изслѣдованіямъ шведскаго ученаго средины прошлаго столѣтія, Вильке, и его современника шотландскаго ученаго, Блэкка, вытекла изъ размышленія о явленіи, давно замѣченномъ наблюдателями, а именно, что разныя тѣла, при одинаковомъ вѣсѣ, будучи нагрѣты до одинаковой температуры, при погруженіи въ одинаковыя количества холодной воды, нагрѣваютъ ее *не въ одинаковой* степени.

Нагляднымъ доказательствомъ того что тѣла равнаго вѣса и одинаково нагрѣтыя содержатъ неравныя количества тепла можетъ служить слѣдующій опытъ англійскаго ученаго Тиндаля. Онъ бралъ шарики разныхъ металловъ равнаго вѣса, нагрѣвалъ ихъ до одинаковой сте-



Фиг. 226.

пени въ маслѣ и клалъ на восковой дискъ. Одни которые больше доставляли теплоты проваливались (фиг. 226), другіе только углублялись, растопляя лишь незначительное количество воска.

Еслибы вмѣсто того чтобы погружать въ воду тѣла одинаковаго вѣса, мы погрузили тѣла одинаковаго объема, то и въ томъ случаѣ нагрѣваніе было бы не одинаково. Вильке замѣтилъ, „что количество теплоты въ разныхъ тѣлахъ не опредѣляется ни ихъ объемомъ, ни ихъ плотностью, но зависитъ отъ природы тѣла".

Сдѣланное нами опредѣленіе единицы теплоты (какъ количества потребнаго для нагрѣванія единицы вѣса воды на одинъ градусъ) не совсѣмъ, впрочемъ, точно. Оно было бы точно, еслибы было доказано что для нагрѣванія единицы вѣса воды при всякой температурѣ потребно то же количество тепла, что слѣд. количества тепла, потребныя для нагрѣванія килограмма воды отъ 0° до 1°, отъ 50° до 51° отъ 65° до 66° и т. д., равны между собою. Опытъ показываетъ что это не совсѣмъ вѣрно, и количество теплоты, потребное для нагрѣванія воды на одинъ градусъ при высшихъ температурахъ, нѣсколько больше чѣмъ при низшихъ. Потому, въ строгомъ смыслѣ, за единицу теплоты принимается то количество, какое потребно для нагрѣванія килограмма воды отъ 0° до 1°. Удѣльная теплота другихъ тѣлъ также не есть величина строго постоянная при всѣхъ температурахъ.

§ 176. Опредѣленіе удѣльной теплоты по способу смѣшенія. Главная метода для опредѣленія удѣльной теплоты тѣлъ есть такъ-называемая метода *смѣшенія*, состоящая въ томъ что нагрѣтое тѣло погружаютъ въ воду и измѣряютъ на сколько градусовъ она нагрѣлась, когда пришла въ равновѣсіе температуры съ погруженнымъ тѣломъ. При этомъ, принимается какъ очевидное: 1) что всякое тѣло при охлажденіи на извѣстное число градусовъ утрачиваетъ теплоты столько же, сколько пріобрѣло бы еслибы было нагрѣто на ту же величину, и 2) что при смѣшеніи, если между водой и тѣломъ нѣтъ иного взаимнодѣйствія кромѣ обмѣна теплоты, количество тепла, пріобрѣтенное водою, равняется тому которое отдано тѣломъ.

Возьмемъ килограммъ воды при 100° и смѣшаемъ его съ килограммомъ воды при 0°. Смѣсь будетъ вѣсить 2 килограмма, и температура будетъ 50°. Сто единицъ теплоты, заключающихся въ теплой водѣ, раздѣлятся поровну между двумя килограммами. Но если возьмемъ килограммъ ртути при 100° и смѣшаемъ съ килограммомъ воды при 0°, то общая температура смѣси будетъ только 3°. Вода, нагрѣвшись на три градуса, пріобрѣла 3 единицы тепла, уступленныя ртутью охладившеюся на 97°. Но если килограммъ ртути, охлаждаясь на 97°, доставляетъ три единицы тепла, то и наоборотъ, чтобы нагрѣть килограммъ ртути на 97° потребны 3 единицы теплоты; чтобы нагрѣть на одинъ градусъ потребно теплоты въ 97 разъ меньше или $\frac{3}{97} = 0{,}03$. Это число и есть *удѣльная теплота ртути*. Еслибы вмѣсто ртути взяли желѣзо, то вода нагрѣлась бы на 10 градусовъ, откуда заключили бы что удѣльная теплота желѣза есть 0,11.

Повторимъ тѣ же разсужденія въ общей формѣ. Имѣемъ m килогр. воды при t^0, смѣшиваемъ ихъ съ m' килограммовъ воды при t'^0. Какая будетъ температура смѣси? Назовемъ искомую температуру буквою x. Одинъ килогр. воды, охладившись отъ t^0 до x^0, утрачиваетъ $t-x$ единицъ тепла; m килогр. утрачиваютъ $m(t-x)$. Эта теплота идетъ на то, чтобы m' килогр. нагрѣть отъ t'^0 до x^0, а на это потребно $m'(x-t')$. Но эти количества равны между собою; слѣдовательно

$$m(t-x)=m'(x-t) \text{ откуда } x=\frac{mt+m't'}{m+m'}.$$

Формула выведенная петербургскимъ академикомъ средины прошлаго столѣтія, Рихманомъ.

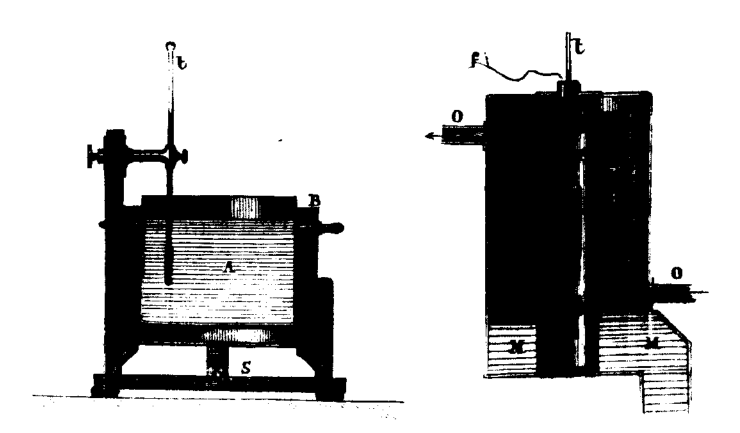
Представимъ себѣ, вовторыхъ, что имѣемъ m килограммовъ тѣла, котораго искомая удѣльная теплота есть x, температура T^0, и которое будучи погружено въ M килограммовъ воды при θ^0, и придя въ равновѣсіе температуры съ водою, получило общую съ нею температуру t^0. Можно разсуждать такъ: M килограммовъ воды грѣлись отъ θ^0 до t^0; слѣдовательно пріобрѣли количество теплоты $M(t-\theta)$; съ другой стороны m килогр. тѣла охладившись на $T-t$ градусовъ отдали теплоты $mx(T-t)$. (ибо x есть количество тепла, отдаваемое однимъ килограммомъ тѣла при охлажденіи на одинъ градусъ;

mx — количество, отдаваемое m килограммами при охлажденіи на одинъ градусъ, и это количество надо помножить на $T-t$ градусовъ, чтобы выразить полную потерю). То что теряетъ тѣло—пріобрѣтаетъ вода; слѣдовательно

$$mx(T-t) = M(t-\theta),$$

откуда и можно опредѣлить x.

На практикѣ погруженіе тѣла въ воду производится въ металлическомъ сосудѣ съ тонкими стѣнками, называемомъ *калориметромъ* (фиг. 227). Сосудъ этотъ иногда помѣщаютъ, какъ и изображено на чертежѣ, внутри другаго металлическаго сосуда съ цѣлью оградить отъ потоковъ воздуха. Для ускоренія обмѣна теплоты и для равномѣрности ея распредѣленія, жидкость взмѣшивается тонкою металлическою мѣшалкой или, буде удобно, самымъ тѣломъ, повѣшеннымъ на нити. Теплота, принимаемая стѣнками калориметра,



Фиг. 227. Фиг. 228.

мѣшалкой и термометромъ, погруженнымъ въ воду для указанія температуры, должна приниматься въ разчетъ при вычисленіи удѣльной теплоты. Нагрѣваніе тѣла до болѣе или менѣе высокой температуры, напримѣръ около 100°, производится обыкновенно въ особомъ аппаратѣ (фиг. 228), нагрѣваемомъ паромъ

Въ случаѣ если вода дѣйствуетъ на тѣло растворяющимъ или химическимъ образомъ, оно должно быть заключаемо въ оболочку изъ вещества, котораго удѣльная теплота опредѣлена особо.

Укажемъ какъ, при составленіи формулы для опредѣленія удѣльной теплоты, обратить вниманіе на теплоту, принимаемую стѣнками калориметра. Пусть вѣсъ стѣнокъ калориметра есть m', удѣльная теплота металла, изъ котораго онѣ сдѣланы, c. Количество тепла $mx(T-t)$, отдаваемое тѣломъ, идетъ отчасти на нагрѣваніе воды калориметра, на что̀ потребно $M(t-\theta)$ единицъ теплоты; отчасти на нагрѣваніе стѣнокъ, т.-е. вѣса m' металла, котораго удѣльная теплота c, и который нагрѣтъ отъ θ^0 до t^0 (вслѣдствіе взмѣшиванія воды тонкія стѣнки калориметра имѣютъ ту же температуру какъ и вода); последнее количество есть $m'c(t-\theta)$. Слѣдовательно

$$mx(T-t) = M(t-\theta) + m'c(t-\theta) \qquad \text{или}$$

$$mx(T-t) = (M + m'c)(t-\theta).$$

Въ этомъ уравненіи величина c предполагается извѣстною. Если она неизвѣстна, то ее опредѣляютъ предварительнымъ опытомъ, погружая въ воду калориметра нагрѣтый кусокъ того самаго вещества, изъ какого сдѣланы его стѣнки. Тогда $x = c$ и наше уравненіе будетъ съ однимъ неизвѣстнымъ c, которое и опредѣлится.

§ 177. Поправка относительно вліянія окружающей среды. Опытъ надъ смѣшеніемъ производится въ атмосферѣ, которой температура вообще неодинакова съ температурой калориметра. Если калориметръ теплѣе окружающаго воздуха, онъ теряетъ нѣкоторое количество тепла, если холоднѣе—пріобрѣтаетъ. Чтобы сдѣлать вліяніе это по возможности незначительнымъ, опыты производятъ съ такими количествами веществъ что температура калориметра повышается лишь на незначительное число градусовъ. Румфордъ совѣтывалъ опытъ располагать такъ чтобы вода до погруженія тѣла была нѣсколько холоднѣе окружающаго воздуха и послѣ смѣшенія повысилась приблизительно на столько градусовъ выше окружающей температуры, на сколько прежде была ниже. Опытъ представляетъ въ такомъ случаѣ два противоположные періода: въ продолженіе одного калориметръ пріобрѣтаетъ теплоту, въ продолженіе другаго теряетъ, и слѣдовательно происходитъ нѣкоторое вознагражденіе. Но, въ строгомъ смыслѣ, пріемъ этотъ не достигаетъ цѣли, ибо тотчасъ по погруженіи происходитъ быстрое возрастаніе температуры, продолжающей затѣмъ медленно подниматься до наибольшей высоты. Потому поправку дѣлаютъ на основаніи *вычисленія*, пользуясь *закономъ охлажденія* тѣлъ указаннымъ Ньютономъ. Законъ этотъ, вѣрный впрочемъ только для случая когда температура тѣла лишь немногимъ выше температуры окружающей среды, состоитъ въ слѣдующемъ:

пониженіе температуры нагрѣтаго тѣла въ продолженіе небольшаго времени,—напримѣръ въ минуту если охлажденіе довольно медленно,—пропорціонально *избытку* температуры тѣла надъ температурой окружающей среды. Самую величину пониженія соотвѣтственно различнымъ избыткамъ опредѣляютъ предварительными испытаніями.

§ 178. Нѣсколько примѣровъ удѣльной теплоты тѣлъ. Приведемъ нѣсколько примѣровъ удѣльной теплоты тѣлъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ.

	Удѣльная теплота.
Золото	0,032
Серебро	0,057
Мѣдь	0,095
Желѣзо	0,114
Висмутъ	0,031
Ртуть	0.033
Вода	1,000
Ледъ	0.504

Вода имѣетъ наибольшую удѣльную теплоту (смѣсь воды съ 20 процентами спирта имѣетъ, впрочемъ, удѣльную теплоту превышающую удѣльную теплоту воды).

Значительною разницею въ удѣльной теплотѣ висмута и желѣза объясняется слѣдующее явленіе (замѣчаніе Тиндаля), могущее ввести въ ошибку при опредѣленіи теплопроводности этихъ тѣлъ по способу Ингенгуса (§ 154). Теплопроводность висмута значительно слабѣе чѣмъ желѣза, а между тѣмъ воскъ на палочкѣ висмута начинаетъ *раньше* таять, такъ какъ для нагрѣванія висмута потребно значительно менѣе теплоты чѣмъ для нагрѣванія желѣза.

Реньйо, помощію продолжительныхъ и трудныхъ изысканій съ точностію, опредѣлилъ удѣльною теплоту различныхъ газовъ. Когда давленіе, подъ которымъ находится газъ, остается безъ перемѣны, то потребны слѣдующія количества теплоты для нагрѣванія киллограмма газа на одинъ градусъ:

Воздухъ	0,2375
Водородъ	3,4090
Углекислота	0,2169

II. Дѣйствія тепла на тѣла сопровождающіяся измѣненіемъ состоянія тѣлъ.

§ 179. Переходъ изъ твердаго въ жидкое состояніе или плавленіе тѣлъ. Твердыя тѣла вообще при нагрѣваніи: 1) расширяются, 2) когда нагрѣваніе достигло опредѣленнаго предѣла, переходятъ въ жидкое состо-

яніе, *плавятся* (если не разлагаются химически). Есть два закона плавленія: 1) каждое тѣло плавится при своей опредѣленной температурѣ, называемой *температурою плавленія* этого тѣла; тѣло оставаясь въ твердомъ видѣ не можетъ имѣть температуру выше этого предѣла; 2) температура эта остается постоянною отъ начала плавленія до того времени какъ вся масса расплавится.

Точка плавленія различныхъ тѣлъ:

Ртуть	-39°	Свинецъ	326°
Ледъ	0°	Цинкъ	360°
Сало	33°	Серебро	1000°
Воскъ желтый	61°	Мѣдь	1050°
Стеаринъ	70°	Золото	1250°
Сѣра	110°	Чугунъ	$1100^{\circ}-1200^{\circ}$
Легкоплавкій металлъ Розе изъ 4 частей висмута, 1 свинца и 1 олова	94°	Желѣзо	$1500^{\circ}-1600^{\circ}$
		Платина	около 2000°

При напвысшихъ температурахъ, какихъ можно достичь чрезъ сжиганіе смѣси кислорода и водорода и чрезъ раскаленіе углей сильнымъ галваническимъ токомъ, можно расплавить платину, кварцъ и другія трудноплавкія тѣла и даже размягчить уголь.

Нѣкоторыя тѣла, прежде чѣмъ растопиться, переходятъ чрезъ состояніе постепеннаго размягченія, среднее между твердымъ и жидкимъ состояніемъ. Таковы стекло, смола, до извѣстной степени желѣзо, размягчающееся при раскаленіи, вслѣдствіе чего его можно ковать молотомъ.

Сильное давленіе на тѣло вообще подымаетъ его точку плавленія; ледъ, напримѣръ, подъ сильнымъ давленіемъ начинаетъ нѣсколько раньше таять чѣмъ не сжатый (при $-0^{\circ},05$ до $-0^{\circ},13$ подъ давленіемъ отъ 8 до 17 атмосферъ).

§ 180. Скрытая теплота плавленія. До изслѣдованій Блакка (1757) полагали, что когда нагрѣваемое тѣло достигло извѣстной температуры (ледъ, напримѣръ, температуры 0°), то незначительнаго прибавленія тепла достаточно чтобъ обратить его въ жидкое состояніе. Но еслибы было такъ, размышлялъ Блаккъ *), то „послѣдствія были бы ужасны, ибо если и нынѣ таяніе большаго количества снѣга и льда производитъ разрушительные потоки и наводненія, то что было бы еслибы снѣгъ и ледъ таяли такъ быстро какъ необходимо вытекаетъ изъ упомянутаго мнѣнія". На дѣлѣ ледъ таетъ весьма медленно, постоянно поглащая теплоту, но безъ увеличенія температуры, такъ что получаемая вода имѣетъ ту же температуру 0°, какую имѣлъ ледъ. Эту теплоту, поглащаемую тѣломъ при переходѣ изъ твердаго въ жидкое состояніе, Блаккъ назвалъ *скрытою теплотой плавленія*, желая словомъ *скрытый* обозначить то обстоятельство, что эта теплота, входя въ тѣло, не повышаетъ его температуры, а пребываетъ въ немъ какъ бы въ скрытомъ состояніи, вновь обнаруживаясь въ явной формѣ при возвращеніи тѣла въ твердый видъ. Для подтвержденія своего ученія Блаккъ произвелъ слѣдующіе опыты. 1) Помѣстивъ въ воздухѣ, въ двухъ одинаковыхъ сосудахъ равныя по вѣсу количества льда и воды при 0°, онъ наблюдалъ ихъ постепенное нагрѣваніе. Такъ какъ температура воздуха въ продолженіе всего времени опыта приблизительно оставалась безъ перемѣны, сосуды же были одинаковы, то можно было допустить, что нагрѣваніе происходило одинаковымъ образомъ, и каждый сосудъ въ полчаса пріобрѣталъ то же количество тепла. Опытъ показалъ что чрезъ полчаса вода перваго нагрѣлась на $3^{\circ},9$ (7° Фар.) выше нуля; тогда какъ потребовалось 10 съ половиною часовъ для того чтобы ледъ втораго сосуда растаялъ и температура образовавшейся воды (бывшей неизмѣнно при 0° во все время пока ледъ не растаялъ вполнѣ) повысилась на $3^{\circ},9$ выше нуля. Такъ какъ послѣднее повышеніе, со-

*) Блаккъ (Black), знаменитый шотландскій химикъ, родился въ 1728 году. Съ 1756 года профессоръ химіи и анатоміи въ Глазго, потомъ въ Эдинбургѣ. Открылъ углекислый газъ. Умеръ въ 1799 году.

гласно опыту съ первымъ сосудомъ, требуетъ полчаса, то собственно таяніе происходило въ продолженіе 10 часовъ или 20 получасовъ. Мы въ правѣ заключить, что въ продолженіе этого времени сосудомъ со льдомъ пріобрѣтено и потреблено на то чтобы ледъ этотъ обратить въ воду количество тепла въ 20 разъ превышающее то какое пріобрѣтено въ полчаса первымъ сосудомъ и повысило температуру его воды на 3°,9. Итакъ чтобы 1 килограммъ льда обратить въ воду потребно въ 20 разъ болѣе тепла чѣмъ сколько нужно для нагрѣванія такого же количества воды на 3°,9, т.-е. $3{,}9 \times 20 = 78$ единицъ тепла. Такова слѣдовательно, приблизительно, *скрытая теплота льда*, то-есть *количество тепла потребное для обращенія килограмма льда при 0° въ килограммъ воды при той же температурѣ*.

2) Блаккъ опускалъ въ теплую воду опредѣленное количество льда при 0° и, дождавшись пока онъ растаетъ (для ускоренія таянія вода взмѣшивалась), опредѣлялъ температуру смѣси. Явленіе сопровождалось значительнымъ поглощеніемъ тепла, и температура смѣси была много ниже той, какая получилась бы еслибы вмѣсто льда мы ввели въ теплую воду равное по вѣсу количество воды при 0°. Не трудно было вычислить что обращеніе единицы вѣса льда въ воду потребляетъ 79,5 единицъ тепла (число подтвержденное новѣйшими изслѣдованіями).

Въ опытѣ своемъ Блаккъ употреблялъ стеклянный сосудъ вѣсомъ въ 29,2 грамма, въ который было налито 262 грамма воды при 87°,7. Въ воду погружался продолговатый кусокъ льда вѣсомъ въ 231 граммъ. Ледъ растаялъ въ нѣсколько секундъ и общая температура воды оказалась 11°,6. Такъ какъ удѣльная теплота стекла, по опредѣленію Блакка, ровно вдвое менѣе удѣльной теплоты воды, то 29,2 грамма стекла равнозначительны по отношенію къ количеству принимаемой или отдаваемой теплоты съ 14,6 граммами воды. Такъ какъ стекло облекая воду, принимаетъ, можно допустить, ту самую температуру, какую имѣетъ вода, то опытъ можно разсматривать какъ погруженіе 231 грамма льда при 0° въ $262 + 14{,}6 = 276{,}6$ граммовъ воды при 87°,7. Еслибы вмѣсто льда при 0° мы имѣли воду при 0°, то температура смѣси опредѣлилась бы по закону Рихмана (§ 174) и была бы равна 47°,8. Между тѣмъ опытъ со льдомъ далъ 11°,6 т.-е. на 36°,2 менѣе. Потерянная теплота поглащена льдомъ при превращеніи изъ твердаго въ жидкое состояніе. Очевидно, что еслибъ эта теплота могла возвратиться, то ея было бы достаточно чтобы всю массу смѣси, или $231 + 276{,}6 = 507{,}6$ граммовъ воды, нагрѣть на 36°,2. Ея было слѣдовательно $507{,}9 \times 36{,}2 = 18375$ единицамъ. Раздѣливъ на 231, получимъ то количество тепла, которое поглащается единицею вѣса льда при 0° при обращеніи въ воду при 0°, а именно 79,5 единицъ (нынѣ по точнѣйшимъ измѣреніямъ принимается 79,25).

Тотъ же выводъ изъ опыта Блакка можно получить на основаніи нѣсколько иного разсужденія, которое сдѣлаемъ въ общей формѣ. M единицъ вѣса воды при $T°$ смѣшиваются съ m единицами вѣса льда при 0°. Получается по смѣшеніи $M+m$ единицъ воды при $\theta°$. Опредѣлить скрытую теплоту льда. M единицъ воды охлажденныя отъ $T°$ до $\theta°$ доставляютъ $M(T-\theta)$ единицъ тепла. Тепло это идетъ 1) на то чтобы растопить безъ измѣненія температуры m единицъ вѣса льда на что потребно mx единицъ тепла, гдѣ x скрытая теплота льда, 2) чтобъ полученныя m единицъ вѣса воды при 0° нагрѣть до $\theta°$, на что потребно $m\theta$ ед. тепла. Слѣдовательно $M(T-\theta) = mx + m\theta$, откуда и опредѣлимъ x.

3) Блаккъ повторилъ опытъ Фаренгейта, состоящій въ слѣдующемъ. Фаренгейтъ заключалъ въ небольшихъ стеклянныхъ шарикахъ выкипѣченную воду и закрывалъ отверстія, такъ что окружающій воздухъ не имѣлъ доступа, и выставлялъ шарики на морозъ. Оказалось что вода охлаждалась до —4° и болѣе, не превращаясь въ ледъ. Но если толкнуть сосудъ, то мгновенно часть воды замерзала, образуя губкообразную пропитанную водою массу льда. При этомъ температура смѣси поднималась до 0°. Этотъ опытъ свидѣтельствуетъ, что при обращеніи воды въ ледъ происходитъ отдѣленіе теплоты, обратное тому поглощенію, которое бываетъ при обращеніи льда въ воду. Скрытая теплота становится явною.

Депре охлаждалъ выкипѣченную воду въ термометрической трубкѣ и доводилъ ее въ жидкомъ видѣ до —20°. При этомъ вода охлаждающаяся ниже 0° продолжаетъ расширяться.

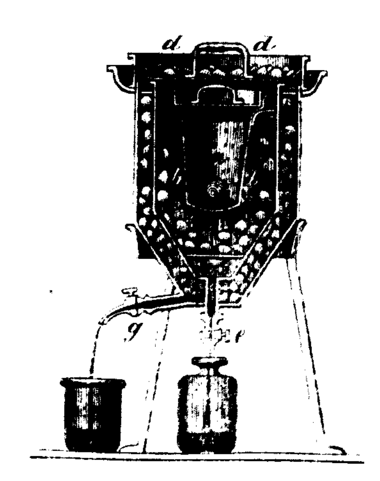
Приведемъ нѣсколько примѣровъ скрытой теплоты плавленія другихъ тѣлъ кромѣ воды:

Сѣра.	9,4 ед. тепла
Свинецъ. . . .	5,4 „
Висмутъ. . . .	12,6 „
Цинкъ.	28,1 „
Серебро. . . .	21,0 „

Таковы количества тепла потребныя для того чтобъ единицу вѣса этихъ тѣлъ обратить изъ твердаго въ жидкое состоянiе.

§ 181. Холодящiя смѣси. На поглощенiе тепла при обращенiи тѣла изъ твердаго въ жидкое состоянiе основывается объясненiе дѣйствiя *холодящихъ смѣсей*. Если смѣшать снѣгъ съ солью, то замѣтимъ быстрое смачиванiе соли сопровождающееся образованiемъ жидкаго раствора, вслѣдствiе обращенiя снѣга и соли изъ твердаго состоянiя въ жидкое. Такъ какъ обращенiе это сопровождается поглощенiемъ тепла, то смѣсь быстро охлаждается, и температура можетъ понизиться до —20° (если взять, напримѣръ, двѣ части снѣга при 0° и одну часть соли при комнатной температурѣ). Смѣсь хлористаго кальцiя съ снѣгомъ доставляетъ еще болѣе значительное пониженiе температуры, которое можетъ, при нѣкоторыхъ условiяхъ, дойти до —50°.

§ 182. Калориметръ Лавуазье и Лапласа *). Затрудненiя, какiя на практикѣ представляетъ метода смѣшенiя для опредѣленiя удѣльной теплоты въ случаѣ тѣлъ, на которыя вода дѣйствуетъ растворяющимъ образомъ или химически, а особенно необходимость поправки отъ дѣйствiя окружающей атмосферы, побудили Лавуазье и Лапласа (въ ихъ изслѣдованiяхъ о теплотѣ, сдѣланныхъ около 1780 г.) устроить калориметръ основанный на таянiи льда. «Представимъ себѣ въ воздухѣ, температура котораго выше 0°, пустую внутри сферу льда при 0° и внутри ея помѣстимъ нагрѣтое до извѣстнаго градуса тѣло;... внѣшняя теплота не проникнетъ во внутреннюю полость массы (она пойдетъ единственно на растопленiе внѣшняго слоя льда); теплота тѣла въ свою очередь не потеряется внѣ и остановится при внутренней поверхности полости, растопляя постоянно новые и новые слои льда пока тѣло дойдетъ до 0°». Самый снарядъ Лавуазье и Лапласа расположенъ какъ показано на фиг. 229. Происходящая отъ таянiя вода вытекаетъ чрезъ отверстiе съ краномъ *e* и собирается въ подставленномъ сосудѣ. Ледъ помѣщенный между двойными стѣнками калориметра охраняетъ внутреннiй ледъ отъ дѣйствiя окружающаго воздуха, такъ что таянiе внутренняго льда происходитъ единственно отъ теплоты отдѣляемой тѣломъ.



Фиг. 229.

Вильке употреблялъ уже ледяной калориметръ, но затрудненiя въ собиранiи воды, происходящей отъ таянiя, продолжительность опыта пока тѣло охладится до 0 и трудность предохранить внутреннюю полость отъ проникновенiя наружнаго воздуха (для избѣжанiя чего Лавуазье и Лапласъ и придумали двойныя стѣнки) заставили его оставить эту методу, вообще менѣе точную чѣмъ метода смѣшенiя, нынѣ по преимуществу употребляемая при точныхъ опредѣленiяхъ.

Не должно забывать, что при употребленiи ледяного калориметра каждая единица вѣса растаявшаго льда соотвѣтствуетъ 79,3 единицамъ теплоты.

*) Лавуазье, труды котораго составляютъ эпоху въ исторiи химiи, родился 1743 года въ Парижѣ въ достаточномъ семействѣ и съ 1768 года былъ членомъ Парижской Академiи Наукъ. Онъ разрушилъ ученiе о флогистонѣ и основалъ истинную теорiю окисленiя и горѣнiя, давъ вѣсамъ значенiе главнаго орудiя химическихъ изысканiй. Собственное состоянiе и занятiя по табачному откупу давали ему средства для дорого-стоившихъ изысканiй. Въ эпоху террора въ 1794 году дикими властителями судебъ тогдашней Францiи онъ казненъ вмѣстѣ съ другими откупщиками за то только что былъ въ ихъ числѣ и посланъ на эшафотъ съ словами: „вамъ не нужно больше ученыхъ“. Полное собранiе сочиненiй Лавуазье издано французскимъ правительствомъ въ 1862 году подъ редакцiей знаменитаго химика Дюма.

Лапласъ, славный авторъ *Небесной механики* и *Изложенiя системы мiра*, родился въ 1749 году въ Бомонѣ на Ожѣ. Въ юности отличался успѣхами въ древнихъ языкахъ и литературѣ и искусствомъ въ диспутахъ. Переселившись въ Парижъ онъ сдѣлался извѣстенъ какъ отличный математикъ и вступилъ въ Академiю Наукъ. Въ эпоху Наполеона I достигъ высшихъ почестей: былъ министромъ, канцлеромъ сената, сдѣланъ графомъ. Умеръ въ 1827 году.

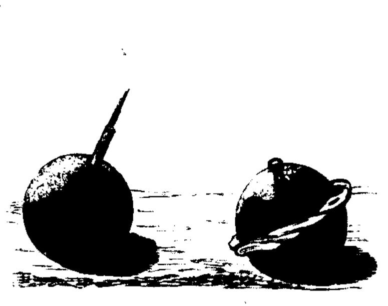
§ 183. **Отвердѣніе тѣлъ при охлажденіи.** Жидкости при охлажденіи переходятъ въ твердое состояніе. Есть впрочемъ жидкости которыя при самой сильной степени охлажденія, какой можно нынѣ достигнуть (около —100°), остаются въ жидкомъ видѣ, хотя и значительно густѣютъ. Таковъ, напримѣръ, алкоголь. *Точка отвердѣнія* или *замерзанія* соотвѣтствуетъ той же температурѣ какъ *точка плавленія или таянія.* Мы говоримъ, что тѣло находится при точкѣ отвердѣнія или замерзанія, когда оно чрезъ охлажденіе переходитъ изъ жидкаго въ твердый видъ, *отдѣляя* теплоту, поглащаемую охлаждающими тѣлами, и сохраняя постоянную температуру.

§ 184. **Измѣненія объема тѣлъ при отвердѣніи.** Вода, преобразуясь въ ледъ, расширяется значительно, такъ что 13 литровъ (куб. дециметровъ) воды при 0°, превращаясь въ ледъ, даютъ 14 куб. дециметровъ льда. Свинецъ, сѣра, напротивъ, сжимаются, переходя изъ жидкаго въ твердое состояніе. Чугунъ и бронза расширяются, хотя и не такъ значительно какъ вода. Этимъ объясняется отчетливость съ какою они выливаются въ формы.

Расширеніемъ воды при переходѣ изъ жидкаго состоянія въ ледъ объясняются многія явленія. Такъ, ледъ будучи легче холодной воды плаваетъ на ней; бутылка наполненная вся водою и плотно закупоренная лопается, когда вода въ ней замерзнетъ. Флорентинскіе академики производили много опытовъ надъ разрываніемъ стеклянныхъ и металлическихъ сосудовъ дѣйствіемъ замерзающей воды. Но особенно любопытны опыты, произведенные въ 1785 году въ Квебекѣ. Бомба 12 дюймовъ въ діаметрѣ (фиг. 230) растреснулась по поламъ. При —17° Реомюра тяжелая металлическая пробка была выброшена за 60 футовъ, и изъ бомбы вышелъ ледяной цилиндръ четыре дюй-

ма длиною. При —23° и наклонѣ 45° пробка была брошена за 400 футовъ.

Скважистые камни растрескиваются при морозѣ отъ замерзанія заключающейся въ нихъ влаги, почва разрыхляется, растенія гибнутъ отъ разрыва сосудовъ и клѣточекъ и т. д.



Фиг. 230.

§ 184. **Смерзаніе кусковъ льда.** Знаменитый англійскій ученый текущаго столѣтія, Фарадей (умеръ въ 1867 году) первый обратилъ вниманіе на любопытное явленіе смерзанія кусковъ льда. Если приложимъ одинъ къ другому два куска льда, при 0° и мокрые на своей поверхности, то они немедленно слипнутся; слой воды помѣщающійся между ледяныхъ стѣнокъ потеряетъ удобоподвижность частицъ и перейдетъ въ твердое состояніе: куски смерзнутся. Явленіе замѣчается не только въ воздухѣ, но и подъ водой, даже теплой, а также въ пустотѣ и не требуетъ чтобы куски нажимались одинъ на другой. Мелкій ледъ или снѣгъ, сухой и ниже 0°, не обнаруживаетъ смерзанія и имѣетъ качества обыкновеннаго песка. Смерзаніемъ объясняется скатываніе, въ оттепель, снѣжныхъ шаровъ, возможность переходить по снѣговымъ мостикамъ чрезъ трещины ледниковъ; далѣе пластичность льда, позволяющая помощію сильнаго сдавливанія въ формахъ дать куску льда видъ шара, чечевицы, кольца и т. под.

Смерзаніемъ, наконецъ, англійскій ученый Тиндаль объясняетъ важное явленіе движенія ледниковъ. Ледники образуются изъ снѣга, покрывающаго горныя высоты за такъ называемою *снѣжною линіею* (въ

Альпахъ выше 8000 футовъ) и спускающагося внизъ, преобразуясь въ зернистый ледъ и затѣмъ въ сплошныя ледяныя массы наполняющія долины. Ледникъ представляетъ собою какъ бы ледяной потокъ, медленно текущій внизъ. Подъ сильнымъ давленіемъ выше лежащихъ частей, ледяная масса, растрескиваясь и смерзаясь, поступаетъ внизъ, сохраняя форму ложбины куда вгоняется давленіемъ, и мѣстами обнаруживая трещины, дѣлающія столь затруднительнымъ переходъ чрезъ ледники.

§ 185. Нѣсколько подробностей о физическихъ свойствахъ льда. Ледъ есть тѣло кристаллическаго строенія. За постепеннымъ образованіемъ кристалловъ льда сплотняющихся постепенно въ общую массу удобно слѣдить, наблюдая образованіе ледяного слоя на стеклахъ рамъ въ холодное время. Ледъ есть тѣло, имѣющее значительный коеффиціентъ куб. расширенія (около $^1/_{6300}$). Теплоту ледъ проводитъ очень дурно (рѣчь, конечно, идетъ о распространеніи тепла во льдѣ ниже 0°, когда одна часть его менѣе холодна чѣмъ сосѣднія). Ледъ непроводникъ электричества. Холодный ледъ представляетъ довольно значительную твердость дозволившую въ 1740 построить въ Петербургѣ на Невѣ цѣлый ледяной домикъ, въ 9 саженъ длиною при 3 ширины. Членъ Петербургской Академіи Наукъ, Крафтъ, въ *Описаніи ледяного дома* (1741), указавъ въ какой мѣрѣ состояніе тѣлъ зависитъ отъ температуры, говоритъ: „Ежели бы въ солнечномъ тѣлѣ жители обрѣтались, то бы они текущимъ желѣзомъ мыться и оное пить могли;.. жители которыхъ мы въ планетахъ Венерѣ и Меркуріи въ умѣ себѣ представить можемъ могли бы равнымъ образомъ свинецъ и олово употреблять;... вода наша, которую мы по большей части видимъ какъ жидкое тѣло, въ планетѣ Сатурнѣ всегда бы была камень подобный твердостію мрамору, который бы однакожъ сіе свойство имѣлъ, чтобы отъ великаго огня растаять могъ... Ежели обрѣтаются въ оной планетѣ жители, которымъ бы нужда велѣла домы себѣ строить, то бы они конечно сей водяной камень на то употребляли... Но и здѣсь въ Санктпетербургѣ... мы видѣли изъ чистаго льда построенный домъ, который по правиламъ новѣйшей архитектуры расположенъ и для изряднаго своего вида и рѣдкости достоинъ былъ чтобы по крайней мѣрѣ таковожъ долго стоять какъ и наши обыкновенные домы, или чтобы въ Сатурнъ... перенесенъ былъ... Напереди передъ домомъ стояло шесть ледяныхъ пушекъ. Изъ оныхъ неоднократно стрѣляли, въ которомъ случаѣ кладено въ нихъ пороху до четверти фунта, а притомъ посконное или желѣзное ядро закачивали... Напослѣдокъ у воротъ стояли два дельфина и по-

мощію насосовъ огонь отъ зажженной нефти изъ челюстей выбрасывали, чтó ночью пріятную потѣху представляло... Самый домъ имѣлъ дверные и оконные косяки также и пилястры выкрашенные краскою на подобіе зеленаго мрамора... Въ каждомъ покоѣ по пяти оконъ, въ которыхъ какъ рамки такъ и стекла изъ тонкаго чистаго льда сдѣланы были... (Въ одномъ покоѣ) стоялъ уборный столъ, на которомъ находились зеркало, нѣсколько шандаловъ со свѣчами, которые по ночамъ будучи нефтью намазаны—горѣли;... (въ другомъ) кровать съ завѣсомъ, постелью, подушками и одѣяломъ;... табуретъ и рѣзной работы комель, въ которомъ лежащія ледяныя дрова нефтью намазанныя многократно горѣли... На лѣвой сторонѣ дома, по обыкновенію сѣверныхъ странъ, изо льду построена была баня, которая казалась будто бы изъ простыхъ бревенъ сдѣлана была и которую нѣсколько разъ топили и дѣйствительно въ ней парились“. Домъ стоялъ съ января до исхода марта.

§ 186. Замерзаніе ртути. Что ртуть при сильномъ холодѣ можетъ замерзнуть, т.-е. обратиться въ твердое состояніе, открылъ членъ петербургской Академіи Наукъ Браунъ въ сильные холода зимою 1759 г. Смѣшивая въ сильный морозъ снѣгъ съ нѣкоторымъ количествомъ крѣпкой водки (aqua fortis, азотная кислота) Браунъ производилъ искусственный холодъ еще значительнѣйшій чѣмъ атмосферный. Опустивъ въ такую холодную смѣсь ртутный термометръ, онъ замѣтилъ что когда температура окружающаго воздуха была около −35°, колонна ртути опустилась такъ низко, что, еслибы по ея высотѣ судить о температурѣ смѣси, пришлось бы приписать ей −200°. „При видѣ такой поразительной степени холода, говоритъ Браунъ, я не хотѣлъ вѣрить глазамъ и думалъ что шарикъ термометра разбился. Но вынувъ, къ удовольствію замѣтилъ, что термометръ цѣлъ. Но ртуть оставалась неподвижна около 12 минутъ, хотя термометръ былъ уже въ воздухѣ“. Браунъ пришелъ къ заключенію, что термометръ прекратилъ показанія потому что ртуть замерзла. Онъ оправдалъ это заключеніе, разбивъ шарикъ термометра и получивъ кусокъ ртути въ твердомъ видѣ. Ртуть замерзаетъ при −39°.

§ 187. Переходъ жидкостей въ газообразное состояніе или паръ. Жидкость переходитъ въ состояніе *пара* двоякимъ путемъ: 1) чрезъ *испареніе*, спокойно, безъ образованія пузырей; 2) чрезъ *кипѣніе*, сопровождающееся усиленнымъ движеніемъ и образованіемъ пузырей. Паръ есть газообразное состояніе жидкости. Паръ воды, подобно парамъ спирта, эѳира и вообще большинства жидкостей, есть газъ невидимый; его не

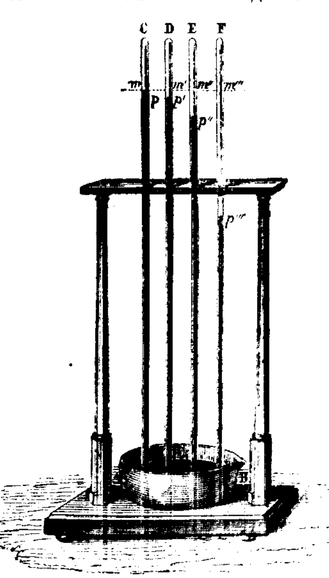
должно смѣшивать съ тѣмъ видимымъ состояніемъ въ какое паръ переходитъ при охлажденіи и которое въ просторѣчіи именуется также паромъ. Такой видимый паръ или *туманъ* состоитъ изъ мельчайшихъ *жидкихъ* массъ, тогда какъ паръ въ собственномъ смыслѣ есть газъ.

Когда жидкость испаряется въ воздухѣ или вообще въ пространствѣ наполненномъ какимъ-либо газомъ, паръ ея смѣшивается съ этимъ газомъ. Въ атмосферномъ воздухѣ всегда распространено большее или меньшее количество водяного пара. О присутствіи его въ воздухѣ комнаты легко убѣдиться, принеся холодное тѣло, на поверхности котораго тотчасъ осѣдаетъ слой влаги. Для изученія пара въ отдѣльности, его должно бразовать въ пустотѣ.

§ 188. Испареніе въ пустотѣ, метода Дальтона. Если въ нѣкоторомъ безвоздушномъ пространствѣ, напримѣръ подъ колоколомъ воздушнаго насоса, находится летучая жидкость, то она испаряется гораздо быстрѣе чѣмъ какъ испарялась бы еслибы сосудъ былъ помѣщенъ въ воздухѣ. Пока испареніе продолжается, и количество пара прибываетъ, давленіе его увеличивается; но скоро паръ достигаетъ предѣла своего давленія или своей упругости въ данномъ случаѣ, и испареніе прекращается. Паръ остается съ избыткомъ жидкости, не измѣняясь въ своемъ количествѣ и давленіи. Мы говоримъ: пространство *насыщено* паромъ. Такъ какъ описанный процессъ происходитъ очень скоро, то всякій разъ когда въ данномъ безвоздушномъ пространствѣ замѣчаемъ нѣкоторое количество жидкости мы въ правѣ считать это пространство насыщеннымъ и паръ имѣющимъ наибольшую упругость возможную въ данномъ случаѣ. Для опредѣленія этой упругости, англійскій ученый Дальтонъ *), въ началѣ нынѣшняго столѣтія употреблялъ слѣдующій пріемъ, пользуясь

*) Дальтонъ, знаменитый англійскій химикъ (родился въ 1766 г.

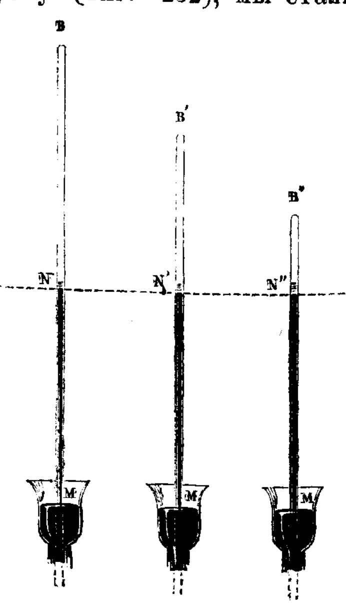
вмѣсто колпака воздушнаго насоса барометрической пустотою Торричелли. „Я раздѣлялъ, говоритъ онъ, барометрическую трубку на дюймы и десятыя доли дюйма, отмѣчая дѣленія подпилкомъ; затѣмъ наливалъ въ нее жидкости, служившей для опыта, столько что внутреннія стѣнки трубки были ею смочены; наполнялъ трубку ртутью и опрокидывалъ (въ сосудъ со ртутью) осторожно чтобы воздухъ не проникъ. Когда полученный такимъ образомъ барометръ постоялъ нѣкоторое время, надъ ртутью собрался слой жидкости отъ $^1/_{10}$ до $^1/_8$ доли дюйма толщиною". Пространство надъ оставшеюся въ избыткѣ жидкостью наполнено паромъ. Объ упругости пара можно судить сравнивая высоту ртути въ барометрѣ, гдѣ надъ нею Торричелліева пустота, съ высотою столба ртути въ трубкѣ гдѣ надъ нею паръ. *Разность* этихъ двухъ высотъ выражаетъ упругость пара. Опыты произведенные этимъ способомъ доказываютъ: 1) что упругость пара разныхъ веществъ при той же температурѣ различна; жидкости болѣе летучія имѣютъ и большую упругость, какъ видно,



Фиг. 231

умеръ въ 1844), принадлежалъ къ сектѣ квакеровъ, былъ учителемъ въ Манчестерѣ, когда помощію самыхъ простыхъ приборовъ и при самыхъ скромныхъ средствахъ умѣлъ произвести изслѣдованія, доставившія ему извѣстность и почетъ. Основатель атомистической теоріи въ химіи. Не различалъ краснаго цвѣта съ зеленымъ (недостатокъ зрѣнія получившій названіе дальтонизма).

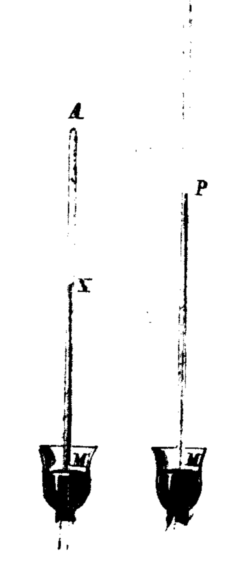
напримѣръ на фиг. 231, гдѣ рядомъ съ барометромъ C изображены три трубки заключающія въ себѣ: трубка D — воду, трубка E — спиртъ и трубка F — эѳиръ. 2) Что упругость эта когда пространство насыщено есть дѣйствительно *наибольшая*, какую паръ можетъ имѣть при данной температурѣ. Еслибы, опуская трубку (фиг. 232), мы стали уменьшать пространство надъ ртутью и слѣдовательно *сжимать* насыщающій паръ, то упругость бы его не увеличилась, ибо колонна ртути осталась бы на прежней высотѣ. Но за то слой жидкости утолщился бы; слѣдовательно часть пара возвратилась бы въ жидкое состояніе. И можно было бы опустить трубку такъ глубоко, что весь паръ обратился бы въ жидкость. Такимъ образомъ упругость пара, находящагося въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости не зависитъ отъ величины занимаемаго имъ пространства (паръ насыщающій пространство не подчиняется закону Маріотта). Если бы стали подымать трубку, то количество жидкости уменьшалось бы, количество пара прибывало, но упругость его, а потому и высота ртути оставались бы,— пока есть избытокъ жидкости безъ,—перемѣны. Еслибы въ пространствѣ надъ ртутью былъ не паръ, а воздухъ или иной газъ, явленіе произошло бы иначе.



Фиг. 232.

При опусканіи трубки воздухъ, принужденный занимать меньшее и меньшее пространство, сжимался бы, его упругость возрастала бы и, какъ видимъ на фиг. 233, высота ртутной колонны сдѣлалась бы меньше. Наоборотъ, при поднятіи трубки, ртутная колонна повысилась бы, вслѣдствіе разрѣженія воздуха. Еслибы, и въ случаѣ пара, трубка была поднята такъ высоко, что вся жидкость испарилась бы, и надъ ртутью не осталось бы жидкаго слоя, то продолжая поднимать трубку, мы замѣтили бы повышеніе ртути, какъ въ случаѣ воздуха или газа. Паръ не насыщалъ бы болѣе пространство, и его упругость уменьшалась бы по мѣрѣ того какъ онъ занималъ бы бóльшее и бóльшее пространство. Паръ *ненасыщающій* пространство слѣдуетъ по отношенію къ расширенію и сжатію тому же закону какъ воздухъ и газы (закону Маріотта).

§ 189. Упругость пара насыщающаго пространство при разныхъ температурахъ. Описанные опыты мы предполагали произведенными при какой-либо данной неизмѣняемой температурѣ. Если температура измѣняется, то и количество жидкости превращающееся въ паръ до насыщенія даннаго пространства и упругость пара также измѣняются, и притомъ весьма значительно. Еслибы мы перенесли снарядъ изображенный на фиг. 231 (стр. 245) изъ холодной комнаты въ теп-



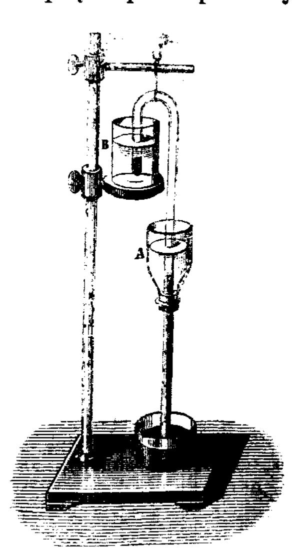
Фиг. 233.

лую, то высота ртути въ трубкахъ, особенно въ содержащей эѳиръ, измѣнилась бы значительно. Упругость пара возрасла бы, и толщина жидкаго слоя надъ ртутью уменьшилась бы, свидѣтельствуя о томъ, что новое количество жидкости обратилось въ паръ. Если наоборотъ перенесемъ снарядъ изъ теплаго пространства въ холодное, то нѣкоторое количество пара немедленно *осядетъ*, слой жидкости надъ ртутью утолщится, и оставшійся паръ пріобрѣтетъ меньшую упругость соотвѣтствующую новой температурѣ. Наблюдая при разныхъ температурахъ высоту ртутной колонны въ барометрической трубкѣ съ жидкостью надъ ртутью, можно удобно измѣрить упругость пара этой жидкости при среднихъ температурахъ (отъ 0° и до температуръ близкихъ къ кипѣнію воды, если дѣлать опытъ, окруживъ верхъ трубки оправой наполненною горячею водой).

§ 190. Упругость пара въ сообщающихся пространствахъ разной температуры. Представимъ себѣ два пустыя пространства разной температуры, находящіяся въ сообщеніи. Пусть въ тепломъ находится нѣкоторое количество жидкости. Жидкость испаряется, доставляя паръ, стремящійся насытить это пространство. Но такъ какъ оно находится въ сообщеніи съ другимъ, холоднымъ, то часть пара переходитъ въ это послѣднее. Здѣсь паръ не можетъ умѣть упругость соотвѣтствующую теплому пространству: она должна быть меньше. Оттого часть пара обращается въ жидкое состояніе. Такъ продолжается пока въ тепломъ пространствѣ остается избытокъ жидкости. Жидкость *дистиллируется* или *перегоняется*, обращаясь въ паръ въ тепломъ пространствѣ и возвращаясь въ холодномъ въ состояніе жидкости. Когда вся жидкость въ тепломъ пространствѣ перешла въ состояніе пара, нѣкоторое время продолжается переходъ пара изъ теплаго въ холодное пространство, именно до

тѣхъ поръ пока установится равновѣсіе давленій между паромъ наполняющимъ теплое пространство и паромъ находящимся въ холодномъ. Это будетъ, очевидно, когда паръ въ тепломъ пространствѣ разрѣдится на столько что упругость его сдѣлается равною упругости пара наполняющаго холодное пространство. Теплое пространство не будетъ, слѣдовательно, насыщено паромъ; общая же упругость будетъ равна *упругости насыщенія соотвѣтствующей температурѣ холоднаго пространства.*

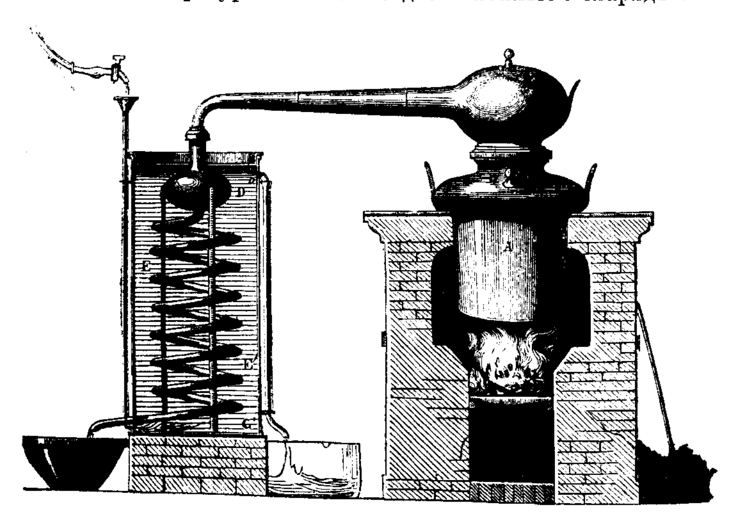
Слѣдующій опытъ подтверждаетъ указанное начало. Возьмемъ (фиг. 234) согнутую вверху барометрическую трубку, въ которой заключается ртуть, а надъ ртутью слой летучей жидкости, напримѣръ, эѳира. Опустимъ конецъ *B* въ холодную воду, окруживъ часть *A* трубки сосудомъ съ теплою водою. Жидкость мало-по-малу изъ трубки перейдетъ въ холодное колѣно *B*, и высота ртутной колонны покажетъ, что паръ эѳира имѣетъ упругость, соотвѣтствующую температурѣ холоднаго колѣна. Помощію подобныхъ опытовъ можно опредѣлять упругость пара при очень низкихъ температурахъ, не заключая всего снаряда въ холодное пространство, а только погрузивъ конецъ трубки въ холодящую смѣсь.



Фиг. 234.

§ 191. Перегонка жидкостей въ практическомъ примѣненіи. Помощію *перегонки* или *дистилляціи* освобождаютъ жидкость

отъ твердыхъ частей въ ней растворенныхъ или отдѣляютъ одну отъ другой смѣшанныя жидкости, если онѣ кипятъ при разныхъ температурахъ. Фиг. 235 даетъ понятіе о снарядѣ мо-

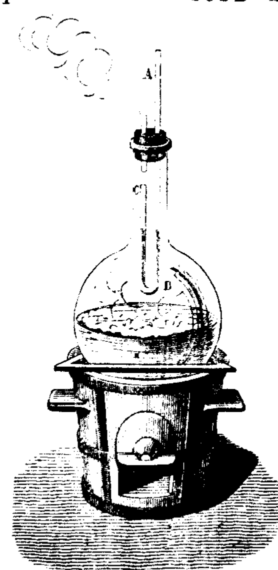


Фиг. 235.

гущемъ служить для перегонки воды съ цѣлью получить ее въ химически чистомъ видѣ *(дистиллированная вода)*. Образующійся въ котлѣ *A* паръ сгущается въ *холодильникѣ* *DEE'*, состоящемъ изъ сосуда *D* и змѣевидно изогнутой трубки *(змѣевикъ) EE'*, погруженныхъ въ холодную воду. Дистиллированная жидкость вытекаетъ изъ отверстія *O*. Твердыя части бывшія въ ней въ растворѣ остаются въ котлѣ *A*. Расширенный верхъ котла служитъ къ тому, чтобы поднимающійся паръ успѣлъ отложить механически увлекаемыя имъ частицы. Въ случаѣ перегонки смѣшанныхъ жидкостей (напримѣръ спирта съ водой), въ первый періодъ опыта получаютъ жидкость имѣющую низшую точку кипѣнія, слѣд. болѣе летучую,—спиртъ въ нашемъ примѣрѣ.

§ 192. Измѣреніе упругости пара при высокихъ температурахъ. Для опредѣленія упругости пара, насыщающаго пространство при высокихъ температурахъ прибѣгаютъ къ способу, основанному на явленіи *кипѣнія*. Въ § 151, говоря объ опытахъ надъ опредѣленіемъ точки кипѣнія на термометрѣ, мы

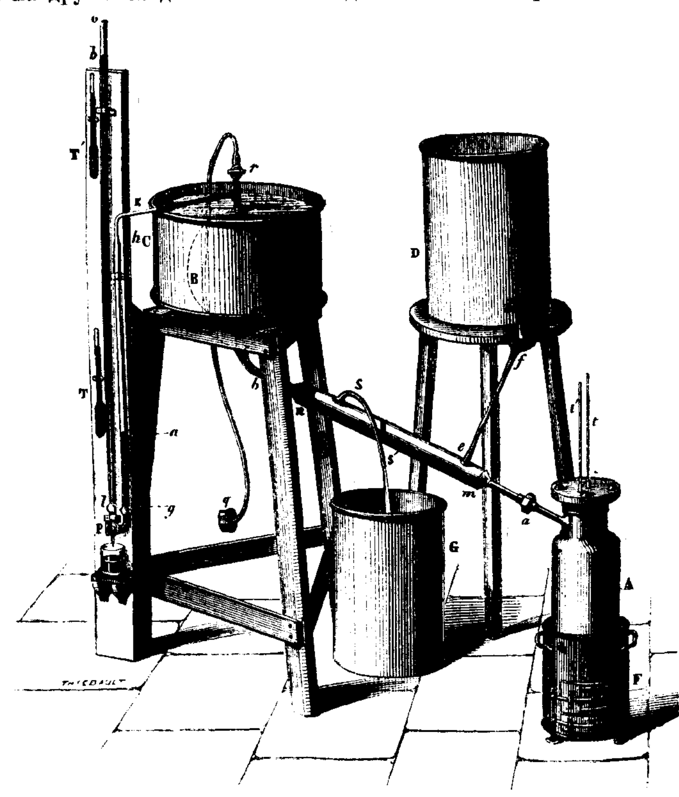
упоминали что паръ, поднимающійся съ поверхности кипящей воды (или иной жидкости), имѣетъ упругость равную давленію воздуха, въ которомъ происходитъ кипѣніе. Это доказывается тѣмъ что ртуть въ согнутой манометрической трубкѣ (фиг. 204 на стр. 194), присоединенной къ снаряду куда погруженъ термометръ, во все время кипѣнія стоитъ на одной высотѣ въ обоихъ колѣнахъ,—какъ въ открытомъ, чрезъ которое дѣйствуетъ атмосферное давленіе, такъ и въ сообщающемся со внутренностію сосуда, наполненнаго паромъ. Фиг. 236 представляетъ тотъ же опытъ въ нѣсколько измѣненной формѣ. Чѣмъ сильнѣе давленіе, тѣмъ выше температура, при которой жидкость приходитъ въ кипѣніе. И тогда какъ, напримѣръ, подъ давленіемъ одной атмосферы (760 милл.) вода кипитъ при 100°; подъ давленіемъ 10 атмосферъ (7600 милл.) она нагрѣвается до 180° и кипѣть начинаетъ только при этой температурѣ. Доводя жидкость до кипѣнія въ пространствѣ наполненномъ сжатымъ воздухомъ подъ различными давленіями и наблюдая, во время кипѣнія, съ одной стороны температуру жидкости, съ другой давленіе подъ которымъ она находится, тѣмъ самымъ узнаемъ упругость ея пара, соотвѣтствующую наблюдаемой температурѣ, такъ какъ эта упругость равна давленію.



Фиг. 236.

Метода эта была въ большихъ размѣрахъ приложена Реньйо къ опредѣленію упругости водянаго пара, столь важному въ

практическомъ отношеніи, такъ какъ водяной паръ работаетъ въ паровой машинѣ. Въ послѣдствіи Реньйо распространилъ ее и на другія жидкости. Фиг. 237 даетъ понятіе о расположеніи



Фиг. 237.

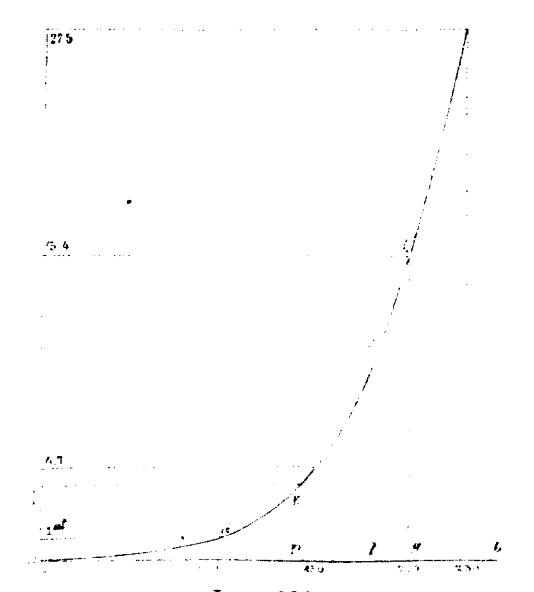
снаряда Реньйо. Вода доводится до кипѣнія въ котлѣ *A*, гдѣ погружены термометры; котелъ сообщается съ резервуаромъ *B* съ сжатымъ воздухомъ, давленіе которое измѣряется открытымъ манометромъ *OPK*. Чтобъ паръ не переходилъ въ резервуаръ, трубка сообщающая резервуаръ съ котломъ снаружи охлаждается потокомъ воды. Чрезъ это паръ идущій изъ котла внутри ея постоянно осаждается и въ жидкомъ видѣ возвращается въ котелъ.

§ 193. Упругость пара воды, спирта и эѳира. Чтобы дать понятіе о томъ какъ возрастаетъ, съ повышеніемъ температуры, упругость пара, насыщающаго пространство (находящаго-

ся слѣд. въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости) приведемъ числа относящіяся къ случаю водянаго пара, алкоголя и эѳира.

Температура.	Упругость водянаго пара въ миллиметрахъ.	Паръ алкоголя.	Паръ эѳира.
— 20°	0,9	3,3	69
— 10	2,0	6,5	115
0	4,6	12,7	184
10	9,2	24,2	287
20	17,4	44,5	433
40	54.9	134	907
60	149	350	1725
80	355	813	3023
100	760	1698	4953
120	1491	3232	7719

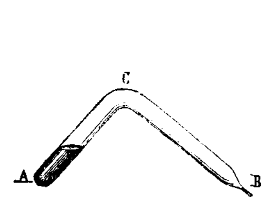
Упругость пара въ атмосферахъ.	Соотвѣтствующая температ. въ случаѣ водян. пара.	Въ случаѣ пара алкоголя.	Въ случаѣ пара эѳира.
1	100°	78,°4	35°
2	121	97	56
5	152	125	90
10	180	„	120
20	213	„	„



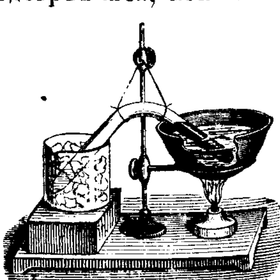
Фиг. 238.

Кривая изображенная на фиг. 238 наглядно представляетъ законъ возрастанія упругости пара воды въ зависимости отъ температуры. На горизонтальной линіи обозначены температуры отъ 0 до 230°; ординаты кривой *dc*, *kp*, *st* и т. д. изображаютъ величину упругости въ атмосферахъ.

§ 194. Сравненіе паровъ и газовъ. Такъ какъ пары *ненасыщающіе* пространства, по физическимъ свойствамъ, не отличаются отъ газовъ, то самые газы можно разсматривать какъ пары находящіеся далеко отъ точки насыщенія. Эта мысль подтверждается опытами, доказывающими что многіе газы при сильномъ охлажденіи или сдавливаніи могутъ быть обращены въ жидкое состояніе и только для нѣкоторыхъ изъ нихъ употреблявшіяся до нынѣ средства оказались недостаточными для обращенія въ жидкій видъ. Таковы: кислородъ, водородъ, азотъ и нѣкоторые другіе. Простѣйшая метода для обращенія многихъ газовъ въ жидкой видъ принадлежитъ Фарадею. Онъ употреблялъ согнутую стеклянную трубочку съ толстыми стѣками (фиг. 239). Въ одно колѣно вводилъ вещество доставлявшее газъ, другой конецъ *B* запаивалъ. Конецъ *A* (фиг. 240) подогрѣвался, конецъ *B*



Фиг. 239.



Фиг. 240.

былъ опущенъ въ холодящую смѣсь. Развивающійся при *A* газъ переходитъ въ холодное колѣно, производя по мѣрѣ своего выдѣленія большее и большее давленіе. Охлажденный и сильно сдавленный газъ въ колѣнѣ *B* переходитъ въ жидкое состояніе. Такъ

можно было обратить въ жидкое состояніе хлоръ, аммоніакъ, сѣрнистый водородъ.

На томъ же началѣ сжатія газа собственнымъ давленіемъ, по мѣрѣ прибыванія его количества, вслѣдствіе образованія его чрезъ химическое разложеніе въ замкнутомъ пространствѣ, — основывается добываніе углекислоты въ жидкомъ видѣ. Открывъ кранъ резервуара, содержащаго жидкую углекислоту, получаютъ струю пара углекислоты; стремительное выхожденіе этого пара сопровождается столь сильнымъ его охлажденіемъ, что въ подставленный, особо устроенный, ящикъ падаютъ какъ бы хлопья снѣга, которые, суть не что иное какъ углекислота въ твердомъ видѣ. Смѣшивая твердую углекислоту съ эѳиромъ получается холодящая смѣсь самой низкой температуры, какая только могла быть достигнута: 108° ниже нуля. Наконецъ, газы могутъ быть обращаемы въ жидкое состояніе помощію сжиманія нагнетательнымъ насосомъ, накачивающимъ газъ въ прочный металлическій сосудъ, погруженный въ снѣгъ или, лучше, въ холодящую смѣсь.

§ 195. Сравненіе упругости пара съ упругостію нагрѣваемаго воздуха. Чтобы дать болѣе наглядное понятіе о возрастаніи упругости пара, по мѣрѣ возвышенія температуры, въ случаѣ если жидкость, доставляющая паръ находится въ избыткѣ, такъ что паръ насыщаетъ пространство, сравнимъ упругость пара воды съ упругостію нагрѣваемаго воздуха. Представимъ себѣ пустое пространство, объемъ котораго есть, напримѣръ, одинъ куб. метръ, и въ которое введено количество воды, достаточное для насыщенія его паромъ при температурѣ до какой идетъ опытъ: около 7 килограммовъ, еслибы, напримѣръ, опытъ простирался до 190°. Упругость пара при 0° едва равная 4,6 миллиметра (или 0,006 одной атмосферы) при 190° сдѣлается равною давленію 12,5 атмосферъ (или давленію ртутнаго столба въ 9,5 метровъ). Еслибы въ такомъ же пространствѣ былъ воздухъ, взятый при температурѣ 0° подъ давленіемъ одной атмосферы (его взято было бы слѣдоват. 1,293 килограмма), то при нагрѣваніи до 190° его упругость увеличилась бы только до 1,79 атмосферы (или 1,36 метра ртути). Еслибы, наконецъ, въ первомъ опытѣ количество воды было недостаточно для насыщенія куб. метра паромъ при 190°; было бы, напримѣръ, ея только килограммъ, то упругость пара быстро возрастала бы пока паръ насыщаетъ пространство (въ нашемъ примѣрѣ до 1,7 атмосферы при 115,°5), а съ этого предѣла возрастаніе упругости не отличалось бы отъ возрастанія упругости воздуха, и при 190° упругость была бы 2,26 атм. Сравнительный обзоръ упругостей удобно сдѣлать помощію слѣдующей таблицы, гдѣ въ первомъ столбцѣ означены температуры; во второмъ выраженное въ атмосферахъ давленіе 1,293 кил. воздуха, заключеннаго въ 1

куб. метрѣ; въ третьемъ давленіе насыщающаго пара, выраженное тоже въ атмосферахъ; въ четвертомъ давленіе пара если введенное количество воды есть килограммъ.

Температура.	Давленіе воздуха.	Давл. насыщ. пара.	Давл. пара насыщ. лишь до 115°	Давл. 7 кил. воздуха.
0°	1	0,006	0,006	5,4
50	1,18	0,12	0,12	6,4
100	1,36	1	1	7,4
120	1,44	2	1,9	7,8
150	1,55	4,8	2,1	8,6
180	1,66	10	2,2	9,0
190	1,7	12,5	2,26	9,2

Послѣдній столбецъ показываетъ какъ возрасла бы упругость воздуха, первоначально сжатаго при 0° до 5,4 атмосферъ и за тѣмъ нагрѣваемаго (его заключалось бы въ такомъ случаѣ 7 килограммовъ въ кубическомъ метрѣ). Вообще видимъ, что тогда какъ возрастаніе упругости воздуха при нагрѣваніи идетъ сравнительно медленнымъ путемъ, упругость водянаго пара, крайне слабая при 0°, быстро возрастаетъ при нагрѣваніи, если только въ разсматриваемомъ пространствѣ есть избытокъ воды. Если вся вода превратилась въ паръ, нагрѣваніе же продолжается, то паръ не насыщаетъ болѣе пространства (онъ называется *подогрѣтымъ* паромъ) и его упругость возрастаетъ по тому же закону какъ упругость нагрѣваемаго воздуха.

§ 196. Вѣсъ кубическаго метра пара при разныхъ температурахъ. Водяной паръ легче воздуха взятаго при томъ давленіи и той же температурѣ какъ и паръ. Гей-Люссакъ изъ своихъ опытовъ (произведенныхъ надъ паромъ при температурѣ около 90°, ненасыщавшимъ пространство и имѣвшимъ упругость значительно менѣе атмосфернаго давленія) нашелъ что отношеніе вѣса даннаго объема пара къ вѣсу такого же объема воздуха при томъ же давленіи и той же температурѣ есть $^5/_8$ (или 0,62). Тотъ же результатъ полученъ французскимъ химикомъ Дюма (нынѣ секретарь Парижской Академіи Наукъ) въ случаѣ пара насыщающаго пространство при атмосферномъ давленіи. Если бы и во всѣхъ случаяхъ отношеніе это оставалось то же самое сравнительно съ воздухомъ, то есть плотность была бы постоянною величиною $^5/_8$, то легко было бы вычислять, зная упругость пара, его вѣсъ въ данномъ объемѣ при данной температурѣ. Изслѣдованія Реньйо показываютъ, что эту плотность при невысокихъ температурахъ дѣйствительно можно принимать постоянною, равною 0,622. Потому если хотимъ, напримѣръ, опредѣлить вѣсъ кубическаго метра водянаго пара при 40° въ случаѣ насыщенія (когда упругость есть слѣдов. 55 миллиметровъ), то достаточно, по фор-

мулѣ § 179 найти вѣсъ кубическаго метра воздуха при 40° и давленіи 55 миллиметровъ (когда онъ слѣдов. значительно рѣже, чѣмъ обыкновенный атмосферный воздухъ) и полученное число 0,08 килогр. помножить на 0,62. Получимъ 0,05 килогр. или 50 граммовъ. Въ томъ же пространствѣ при 190° заключается около 6 килограммовъ пара.

Вообще вѣсъ кубическаго метра пара при температурѣ t^o выражается, въ случаѣ насыщенія, когда упругость есть F миллиметровъ, формулою

$$Q = 1^k,293 \cdot \frac{F}{760} \cdot \frac{273}{273+t} \cdot 0,622$$

Если паръ *не насыщаетъ* пространство, то упругость его, которую назовемъ f, менѣе упругости насыщенія F. Вѣсъ кубическаго метра будетъ

$$q = 1^k,293 \cdot \frac{f}{760} \cdot \frac{273}{273+t} \cdot 0,622$$

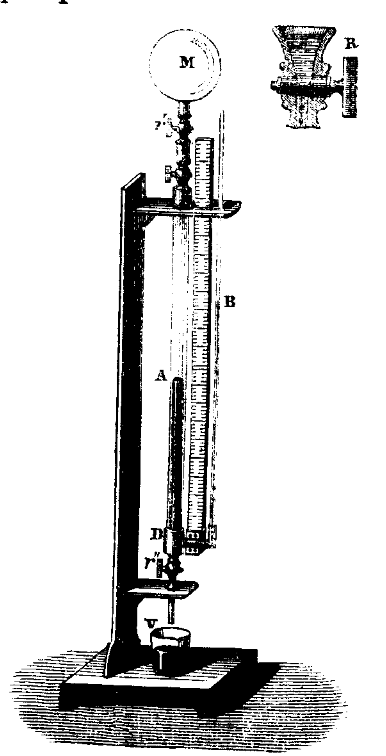
Видимъ что $Q : q = F : f$, то есть что, *при данной температурѣ, количество пара заключающагося въ опредѣленномъ объемѣ пропорціонально его упругости.* Оно наибольшее когда паръ насыщаетъ пространство.

При высокихъ температурахъ количество пара насыщающаго данный объемъ нѣсколько болѣе того какое получается изъ вычисленія, основаннаго на допущеніи постоянства плотности пара.

§ 197. Испареніе въ воздухѣ и газахъ. Дальтонъ показалъ что если въ данномъ замкнутомъ пространствѣ, наполненномъ воздухомъ или инымъ газомъ подъ какимъ-либо давленіемъ, находится летучая жидкость, то она испаряется и даетъ изъ себя паръ, который, мало-по-малу, распространяется въ этомъ пространствѣ въ томъ же количествѣ и достигаетъ той же упругости какъ еслибы пространство это было пустое. Разница лишь въ томъ что насыщеніе пустаго пространства свершается весьма быстро, а пространства наполненнаго воздухомъ или газомъ медленно. Упругость смѣси газа и пара равняется суммѣ упругостей того и другаго, подобно тому какъ, при смѣшеніи въ данномъ пространствѣ нѣсколькихъ газовъ, общая упругость смѣси равняется суммѣ упругостей, какія имѣли бы въ отдѣльности

эти газы, еслибы каждый изъ нихъ лишь одинъ заключался въ данномъ пространствѣ.

Для нагляднаго оправданія вывода Дальтона Гей-Люссакъ устроилъ снарядъ изображенный на фиг. 241. Двуколѣнная трубка CBD (кранъ r'' закрытъ) наполняется ртутью до верху колѣна CD, на верхнюю оправу котораго навинчивается баллонъ M, наполненный сухимъ воздухомъ или газомъ. Если открыть всѣ три крана снаряда, то воздухъ или газъ изъ баллона, по мѣрѣ истеченія ртути, станетъ входить въ верхнюю часть колонны CD. Когда вошло достаточное количество, закрываютъ кранъ r'' и доливаютъ чрезъ открытое колѣно ртути на столько, чтобъ она въ обоихъ колѣнахъ стояла на одной высотѣ. Имѣемъ, слѣдовательно, въ верхней части колѣна CD воздухъ или газъ подъ атмосфернымъ давленіемъ. Отвинтивъ баллонъ, навинчиваютъ кранъ R (нѣсколько увеличенно



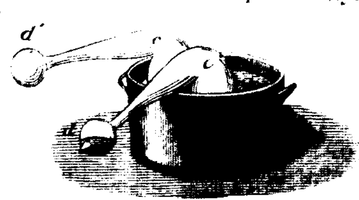
Фиг. 241.

изображенный съ боку политипажа) не сквозной, а только съ выемкой. Наливъ жидкости въ чашечку C и послѣдовательно повертывая кранъ R не трудно ввести нѣкоторое количество жидкости въ верхнюю часть колѣна CD. Жидкость испарится и, если введено ея достаточное количество, насытитъ воздухъ или газъ и останется въ избыткѣ надъ ртутью. Ртуть въ колѣнѣ CD нѣсколько опустится. Но приливъ ртути чрезъ открытое колѣно, можно довести ея колонну въ колѣнѣ CD до прежней высоты A. Тогда воздухъ или газъ будетъ приведенъ къ прежнему объему и разность высотъ ртути при A и B покажетъ на сколько упругость смѣси воздуха или газа съ паромъ, доставленнымъ жидкостію введенною въ избыткѣ, превышаетъ, при томъ же объемѣ, упругость одного воздуха или газа. Окажется, что эта разность высотъ равняется высотѣ

ртутнаго столба, выражающаго упругость пара, насыщающаго безвоздушное пространство при температурѣ опыта. Разность высотъ A и B при 20° была бы, напримѣръ, въ случаѣ эѳира 433 миллиметровъ, ибо такова упругость пара эѳира насыщающаго пространство при 20°.

Изъ доказаннаго начала слѣдуетъ: 1) что, при вычисленіи вѣса пара заключающагося въ данномъ объемѣ воздуха или газа, должно разсуждать такъ какъ если бы паръ одинъ наполнялъ этотъ объемъ; 2) что вѣсъ объема V смѣси воздуха или газа съ паромъ,—въ случаѣ если общее ея давленіе есть H, упругость же собственно пара f, — есть сумма вѣса объема V сухаго воздуха или газа подъ давленіемъ $H-f$ и вѣса объема V пара подъ давленіемъ f.

Замедленіе парообразованія вслѣдствіе давленія воздуха на поверхность жидкости можно замѣтить, наблюдая перегонку жидкости, напримѣръ эѳира, въ снарядѣ наполненномъ воздухомъ сравнительно съ перегонкою въ пустомъ снарядѣ. Шарикъ d (фиг. 242) стеклянной реторты, изъ которой воздухъ выгнанъ предварительнымъ кипяченіемъ эѳира (паръ выходилъ чрезъ маленькое отверстіе шарика d потомъ запаянное) и которая погружена въ теплую воду, быстро наполняется дистиллирующимся эѳиромъ тогда какъ въ шарикъ d' реторты наполненной воздухомъ жидкость перегоняется медленно.



Фиг. 242.

Относительно быстроты испаренія воды въ сосудѣ подъ открытымъ воздухомъ, Дальтонъ показалъ что количество испаряющейся въ данное время жидкости прямо пропорціонально поверхности испаренія и разности упругостей пара $F-f$ (гдѣ F упругость соотвѣтствующая насыщенію при температурѣ опыта, f упругость какую паръ дѣйствительно имѣетъ въ данномъ случаѣ), и обратно пропорціонально атмосферному давленію.

§ 198. Явленія сопровождающія кипѣніе жидкостей.

Кипѣніе есть болѣе или менѣе стремительное образованіе пара, въ формѣ пузырей подымающихся изнутри жидкости и лопающихся на ея поверхности. Чтобы паръ могъ образовать пузырь внутри жидкости необходимо, чтобъ упругость его не была менѣе давленія сжимающаго этотъ пузырь извнѣ, то есть совокупнаго давленія атмосферы и столба жидкости

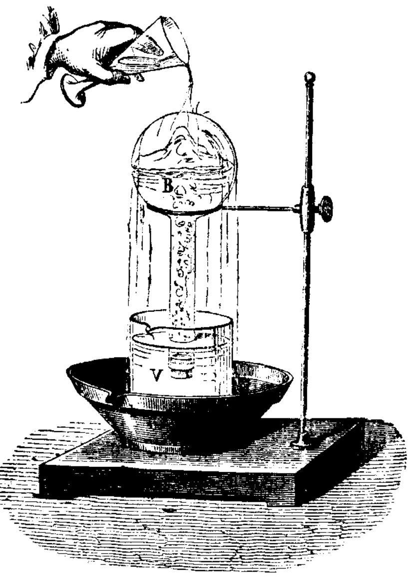
выше уровня пузыря (предполагаемъ жидкость въ открытомъ сосудѣ). Для выполненія этого условія, жидкость и паръ доставляемый ею должны достигнуть извѣстной температуры, зависящей отъ того давленія подъ которымъ происходитъ кипѣніе. Такъ, если жидкость въ открытомъ сосудѣ, когда барометръ показываетъ 760 милл. имѣетъ температуру 50°, то, очевидно, внутри ея не можетъ быть пузырь пара, ибо наибольшая упругость пара при 50° равняется 92 миллиметрамъ ртути, и такой пузырь сжимаемый извнѣ силою превышающею 760 миллиметровъ ртути тотчасъ обратился бы въ воду. Но если температура жидкости превыситъ нѣсколько 100°, упругость пара возрастетъ такъ что уравновѣситъ внѣшнее давленіе. Подымаясь вверхъ въ менѣе нагрѣтое пространство (нагрѣваніе, по предположенію, происходитъ снизу), паръ заключающійся въ пузырѣ охладится, и внѣшнее давленіе, превысивъ его упругость, тотчасъ обратитъ его въ жидкое состояніе. Такъ бываетъ предъ началомъ кипѣнія: пузыри не достигаютъ поверхности, и быстрое превращеніе пара въ жидкость сопровождается образованіемъ пустоты стремительно замѣщаемой жидкостью; отсюда малые удары изъ которыхъ слагается шумъ закипанія. Наконецъ, вся жидкость пріобрѣтаетъ надлежащую температуру, пузыри достигаютъ поверхности и, лопаясь, распространяютъ паръ въ воздухѣ. Въ моментъ выдѣленія, паръ имѣетъ упругость нѣсколько превышающую давленіе воздуха и вытѣсняетъ его мало-по-малу изъ сосуда, если какъ на фиг. 204 или 237 сосудъ этотъ оканчивается вверху каналомъ. Весь сосудъ наполняется паромъ, замѣщающимъ выгнанный воздухъ и устанавливается родъ равновѣсія между окружающею атмосферой и паромъ наполняющимъ сосудъ; малый избытокъ давленія со стороны пара производитъ слабый потокъ пара изъ отверстія сосуда

наружу, причемъ, отъ охлажденія, паръ обращается въ маленькія жидкія частицы, образуя видимый туманъ.

Мы указали условіе при которомъ паръ можетъ находиться внутри жидкости въ формѣ пузыря. Обратимся къ условіямъ, отъ которыхъ зависитъ первоначальное образованіе такого пузыря. Чтобы нѣкоторая часть жидкости внутри ея массы перешла въ состояніе пара недостаточно одного возвышенія температуры до той степени, когда паръ можетъ уравновѣсить давленіе въ томъ мѣстѣ гдѣ образуется. Есть опыты, свидѣтельствующіе что вода, напримѣръ, можетъ дойти до значительно болѣе высокой температуры, не обращаясь въ паръ. Если помѣстить каплю воды (какъ сдѣлалъ г. Донни по совѣту Фарадея) въ смѣси маслъ, приготовленной такъ что плотность ея равна плотности нагрѣтой воды, то капля эта останется взвѣшенною, не падая внизъ и не подымаясь. Такую смѣсь можно нагрѣть до 120° и болѣе, и вода сохранитъ жидкій видъ, не обращаясь въ паръ; но если коснуться капли металлическою проволокой, стекляннымъ или деревяннымъ прутикомъ, тотчасъ послѣдуетъ стремительное парообразованіе, какъ бы небольшой взрывъ. Есть основаніе полагать, что существенное условіе образованія пузыря въ жидкой массѣ есть воздухъ растворенный въ водѣ, который, выдѣляясь при нагрѣваніи, образуетъ ядро пузыря, наполняющагося паромъ, доставляемымъ чрезъ испареніе его жидкими стѣнками. Если продолжительнымъ кипѣніемъ выгнать воздухъ изъ согнутой трубки конецъ которой наполненъ водою, и запаявъ ее, погрузить въ масляную ванну, то можно нагрѣть конецъ до 137°, и жидкость, испаряясь и переходя въ холодный конецъ, не обнаружитъ кипѣнія. Но когда температура превыситъ 137°, жидкая колонна стремительно раздѣляется и часть ея выбрасывается въ шарикъ на другомъ концѣ, нерѣдко разбивая его.

Чѣмъ значительнѣе давленіе, подъ какимъ находится жидкость, тѣмъ, очевидно, бо́льшую упругость долженъ имѣть паръ, чтобъ онъ могъ образовать пузыри внутри жидкости. Этимъ и объясняется почему температура кипѣнія тѣмъ выше чѣмъ значительнѣе давленіе, и наоборотъ, почему кипѣніе наступаетъ тѣмъ раньше чѣмъ меньше давленіе испытываемое жидкостію. Вода, которая при подошвѣ Монъ-Блана кипитъ при 100°, на его вершинѣ закипаетъ при 85°. Опытъ изображенный на фиг. 243 принадлежитъ къ числу наглядныхъ доказательствъ зависи-

мости точки кипѣнія отъ давленія. Наливъ въ колбу воды, кипятятъ ее нѣкоторое время, чтобы выгнать воздухъ; потомъ закрываютъ пробкой и, опрокинувъ, погружаютъ отверстіемъ въ воду. Получаемъ опрокинутую колбу, нижняя часть которой наполнена водой, а въ верхней находится паръ, образующій родъ искусственной атмосферы давящей на поверхность жидкости. Охладивъ сводъ опрокинутой колбы, охлаждаемъ вмѣстѣ и паръ. Упругость его увеличивается; онъ съ меньшею силою давитъ на воду, и она приходитъ въ кипѣніе, хотя температура ея стала уже значительно ниже 100°.

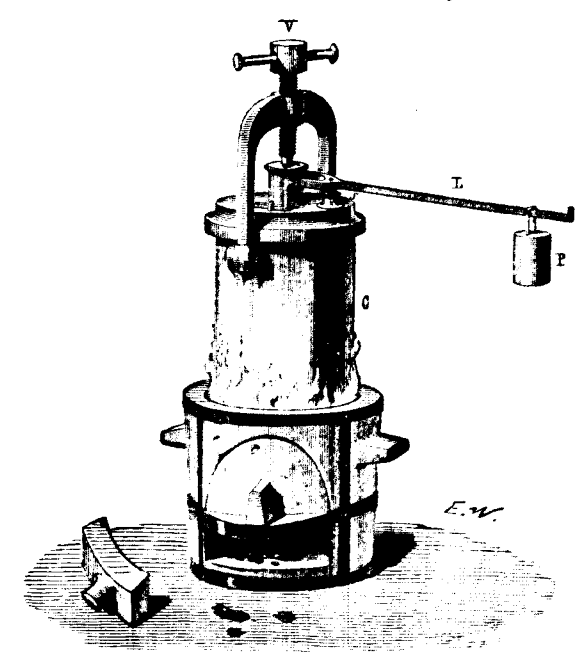


Фиг. 243.

§ 199. **Папиновъ котелъ.** Французскій ученый Папинъ, жившій въ Лондонѣ *), изобрѣлъ котелъ позволяющій нагрѣть воду значительно выше обыкновенной точки кипѣнія, не давая ей обращаться въ паръ. Для этого онъ снабдилъ цилиндрическій мѣдный котелъ, до половины налитый водой, плотно прилегающею крышкою, крѣпко нажимая ее винтомъ и положивъ

*) Родился около 1650 года во Франціи, которую покинулъ послѣ отмѣны Нантскаго эдикта; въ Голландіи былъ ученикомъ Гюгенса; затѣмъ поселился въ Англіи, откуда былъ приглашенъ профессоромъ въ Марбургъ, гдѣ и умеръ въ 1710 году. Папинъ занимаетъ видное мѣсто въ исторіи приложенія пара къ движенію машинъ.

нѣсколько мягкой бумаги между ею и котломъ. При нагрѣваніи, паръ насыщающій верхнюю часть котла, не имѣя исхода, образуетъ искусственную атмосферу, давленіе которой быстро возрастаетъ по мѣрѣ возвышенія температуры. А такъ какъ температура кипѣнія подымается съ увеличеніемъ внѣшняго давленія, то вода, оставаясь жидкою, нагрѣвается значительно выше 100°. Голландскій ученый первой половины XVIII вѣка, Мушенбрёкъ, разогрѣвалъ воду до такой степени, что повѣшенныя внутри на проволокахъ кусочки олова и свинца расплавлялись. Папинъ употреблялъ свой снарядъ чтобы разваривать кости, рогъ, черепаху, приготовлять экстракты и т. под. Въ крышкѣ (фиг. 244) находится не-



Фиг. 244.

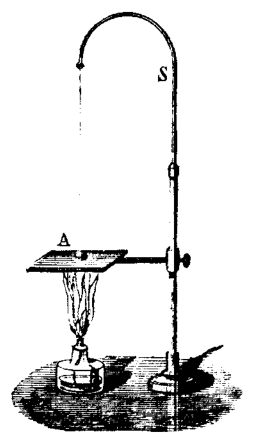
большое отверстіе откуда паръ можетъ выходить. Оно закрыто металлическою пробкой удерживаемою рычагомъ L обремененнымъ грузомъ P и образующею собою предохранительный клапанъ. Когда внутри давленіе дойдетъ до такой степени, что давленіе пара будетъ уравновѣшиваться силою прижатія рычага, то кипѣніе сдѣлается правильнымъ, и температура постнянною, ибо какъ скоро упругость пара увеличится, онъ приподыметъ клапанъ и будетъ выходить наружу пока возстановится равновѣсіе. Чѣмъ больше обремененъ рычагъ, то-есть чѣмъ далѣе отодвинутъ грузъ P, тѣмъ выше, очевидно, температура до какой можно довести воду.

§ 200. Опыты съ нагрѣваніемъ жидкостей въ запаянныхъ трубкахъ. Опыты Коньяра де-Латура и Андрюса. Размышляя объ опытахъ съ Папиновымъ котломъ, въ которомъ можно нагрѣть жидкость значительно выше точки кипѣнія, не превращая ее въ паръ, Коньяръ де-Латуръ (въ 1822 г.) задалъ себѣ вопросъ: „если продолжать возвышеніе температуры, то не наступитъ ли моментъ, когда расширеніе жидкости достигнетъ предѣла, и она, не смотря на сжатіе, вся перейдетъ въ состояніе пара“. Онъ заключилъ въ небольшой Папиновъ котелъ, сдѣланный изъ толстаго ружейнаго ствола, нѣкоторое количество алкоголя и вложилъ каменный шарикъ. Жидкость занимала около трети вмѣстимости снаряда. Замѣтилъ какой звукъ производилъ шарикъ, катаясь внутри снаряда; затѣмъ сильно нагрѣлъ стволъ. Наступилъ моментъ, когда звукъ измѣнился, и шарикъ „отскакивалъ при каждомъ толчкѣ такъ какъ еслибы жидкости внутри ствола не было“. Коньяръ де-Латуръ заключилъ что вся жидкость обратилась въ паръ. Чтобы повѣрить заключеніе и сдѣлать опытъ доступнымъ глазу, онъ ввелъ нѣкоторое количество алкоголя въ стеклянную трубку которую и запаялъ. Жидкость занимала около ²/₅ вмѣстимости трубки. Когда, при нагрѣваніи, жидкость расширилась до той степени что объемъ ея возросъ вдвое, наступилъ моментъ когда она исчезла для глазъ, вся обратившись въ паръ. При охлажденіи, образовывалось какъ бы густое облако и затѣмъ появлялась жидкость въ прежнемъ видѣ. Изъ послѣдующихъ опытовъ Коньяръ де-Латуръ убѣдился что спиртъ весь обращается въ паръ въ пространствѣ втрое большемъ своего первоначальнаго объема, оказывая давленіе около 120 атмосферъ, при температурѣ около 260°. Опыты надъ водой были весьма затруднительны, ибо при возвышенной температурѣ. вода дѣйствовала на стѣнки трубки,

лишая ихъ прозрачности. Прибавивъ къ водѣ немного углекислой соды, Коньяръ де-Латуръ избѣгъ этого неудобства и съ большимъ трудомъ (трубки часто лопались) убѣдился что вода вся обращается въ паръ въ пространствѣ вчетверо большемъ ея первоначальнаго объема и при температурѣ плавленія цинка (360°).

Въ послѣднее время †. Андрюсъ (Andrews) нашелъ что при нагрѣваніи жидкой угольной кислоты до 31° въ запаянной трубкѣ линія раздѣленія между жидкостью и ея паромъ становится менѣе и менѣе замѣтною и наконецъ исчезаетъ. При температурѣ выше 31°, сколько бы ни увеличивать давленіе (до 300 и даже до 400 атмосферъ) паръ угольной кислоты не обращается въ жидкость. Эту температуру Андрюсъ именуетъ критическою точкою. Она различна для различныхъ паровъ. Ниже критической точки сжатіе раздѣляетъ паръ на два слоя, жидкій и газообразный. При критической точкѣ и выше онъ представляетъ при сжатіи однообразную массу, о которой нельзя сказать жидкая она или газообразная. Такъ, при 35°,5 объемъ сжимаемой углекислоты уменьшается, когда давленіе достигаетъ 108 атмосферъ въ 430 разъ противъ объема какой она имѣла находясь подъ давленіемъ одной атмосферы; но это сжатіе происходитъ съ полною постепенностью и угольная кислота во все время остается однообразною массою. Но если понизить температуру ниже 31°, она обращается въ жидкое состояніе безъ замѣтнаго измѣненія въ объемѣ и термическомъ состояніи.

§ 201. Сфероидальное состояніе. Если уронить каплю воды, алкоголя, эѳира и т. п. на сильно нагрѣтую поверхность, напримѣръ на раскаленную или по крайней мѣрѣ очень разогрѣтую (выше 140° въ случаѣ воды) металлическую дощечку, то капля эта бѣгаетъ по поверхности, сохраняя сфероидальную форму, и медленно испаряется, не приходя въ кипѣніе. Если помощію тонкой проволоки (фиг. 245) опущенной въ каплю удержать ее на мѣстѣ, и помѣстить глазъ противъ свѣта, направивъ лучъ по направленію дощечки поста-



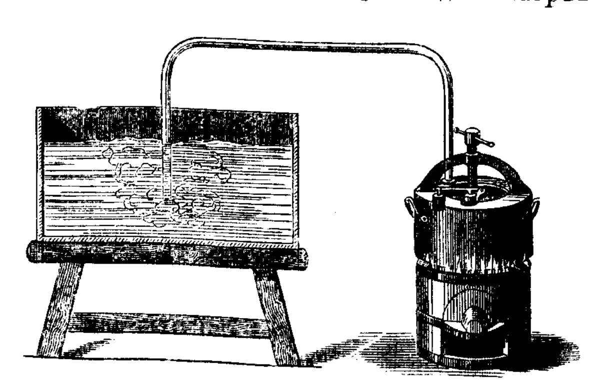
Фиг. 245.

вленной горизонтально, то легко замѣтить что капля не касается поверхности, и между ними замѣтенъ просвѣтъ. Нагрѣваніе капли происходитъ, слѣдовательно, не чрезъ прикосновеніе, а лучистымъ дѣйствіемъ на разстояніи, и слой пара служитъ какъ бы мягкой подушкой поддерживающей каплю, температура которой не достигаетъ точки кипѣнія. Есть жидкости которыя кипятъ при температурѣ ниже 0°. Если капнуть такою жидкостію на разогрѣтую пластинку или налить небольшое ея количество въ раскаленный платиновый тигель, то она придетъ въ сфероидальное состояніе, и мы будемъ имѣть въ раскаленномъ тиглѣ массу жидкости, температура которой ниже 0°. Такъ, французскій ученый Бутиньи приводилъ жидкую сѣрнистую кислоту въ сфероидальное состояніе въ раскаленномъ платиновомъ тиглѣ (точка кипѣнія сѣрнистой кислоты — 10°) и опустивъ въ нее трубочку съ водою, замораживалъ воду въ такомъ раскаленномъ сосудѣ. Фарадей, замѣнивъ сѣрнистую кислоту смѣсью твердой угольной кислоты съ эѳиромъ и воду ртутью, замораживалъ ртуть въ раскаленномъ тиглѣ. Какъ скоро металлъ охладится ниже извѣстнаго предѣла (въ случаѣ воды ниже 140°) жидкость приходитъ въ кипѣніе и стремительно обращается въ паръ. Явленіе имѣетъ причину, повидимому, въ томъ обстоятельствѣ, что при высокой температурѣ вода перестаетъ смачивать металлъ и потому образуетъ на поверхности его каплю, какъ ртуть на поверхности стекла. На явленіе сфероидальнаго состоянія первый обратилъ вниманіе германскій ученый прошлаго столѣтія Лейденфростъ.

§ 202. Скрытая теплота пара. Блаккъ, открывшій скрытую теплоту плавленія, есть также основатель ученія о скрытой теплотѣ пара. Онъ принялъ во вниманіе: 1) Медленность, съ какою доведенная до кипѣнія вода превращается въ парообразное состояніе. Опытъ показалъ Блакку что потребно приблизительно вшестеро болѣе времени дабы данное количество кипящей воды превратить въ паръ, чѣмъ сколько потребно чтобъ это количество нагрѣть отъ 10° до температуры кипѣнія. Потому, если допустить, что въ продолженіе выкипанія сосудъ получалъ столько же теплоты сколько входило въ него когда онъ нагрѣвался отъ 10°, до 100°, то окажется, что для превращенія въ паръ, путемъ кипѣнія, единицы вѣса воды потребно вшестеро болѣе единицъ теплоты, чѣмъ сколько требуется для нагрѣванія ея на 90°; т.-е. $90 \times 6 = 540$ единицъ (число близкое къ найденному потомъ точными изслѣдованіями). 2) Постоянство точки кипѣнія, т.-е. то обстоятельство что, съ момента какъ жидкость закипѣла, температуру ея нельзя болѣе повысить, какъ бы ни усиливали нагрѣваніе; кипѣніе дѣлается стремительнѣе, парообразованіе быстрѣе, но температура не повышается: теплота входитъ, не производя повышенія температуры, ибо, очевидно, поглащается процессомъ парообразованія. 3) Значительность количества теплоты, какое, при перегонкѣ, паръ, обращаясь въ холодильникѣ въ жидкость, сообщаетъ водѣ холодильника: паръ принимая вновь жидкое состояніе какъ бы возвращаетъ теплоту, поглощенную при его образованіи. Изъ этихъ опытовъ Блаккъ, руководствуясь аналогіей съ тѣмъ что̀ бываетъ при обращеніи твердаго тѣла въ жидкое состояніе, заключилъ что жидкость, превращаясь въ паръ, поглащаетъ значительное количество тепла, которое онъ наименовалъ *скрытою теплотою пара*, желая тѣмъ выразить что теплота эта скрыто присутствуетъ въ парѣ, вслѣдствіе чего паръ охлаждаясь доставляетъ теплоты въ нѣсколько разъ болѣе чѣмъ сколько доставляетъ такое же по вѣсу количество жидкости той же температуры. „Когда я обращалъ въ умѣ эту мысль (о скрытой теп-

лотѣ пара), говоритъ Блаккъ, со всѣхъ сторонъ приходило ко мнѣ убѣжденіе, что количество тепла, заключающееся въ парѣ должно быть гораздо больше того какое обнаруживается чрезъ его явную теплоту или температуру. Каждый знаетъ обжигающую силу пара. Мгновенная струя его изъ носика чайнаго котла, едва увлажающая руку и содержащая воды неболѣе четверти капли, тотчасъ всю руку покрываетъ пузырями обжога, что́ не могли бы произвести тысячи капель кипящей воды. Кого не удивляло огромное количество тепла, замѣчаемаго въ холодильникѣ при обыкновенной перегонкѣ? При перегонкѣ спирта, снабженіе холодильника постояннымъ притокомъ холодной воды не рѣдко винокурамъ сто́итъ не менѣе труда и издержекъ какъ снабженіе ихъ печей топливомъ. Устройство такихъ заводовъ въ большихъ городахъ, гдѣ въ другихъ отношеніяхъ было бы наиболѣе удобства, встрѣчаетъ препятствіе именно въ затрудненіи имѣть достаточное количество холодной воды. Чѣмъ болѣе я думалъ объ этихъ предметахъ, тѣмъ удивительнѣе мнѣ казалось, какъ такая общеизвѣстная вещь не привлекла на себя вниманія и осталась не замѣченною".

Фиг. 246. представляетъ снарядъ для нагрѣванія



Фиг. 246.

воды теплотою сгущающагося пара. Паръ образуется въ котлѣ при болѣе или менѣе высокой температурѣ и, проведенный въ ванну, сгущается, нагрѣвая значительное количество воды.

Скрытая теплота воднаго пара при температурѣ кипѣнія подъ атмосфернымъ давленіемъ, т.-е. количество тепла потребное для того чтобы килограммъ воды при 100° обратить въ паръ при той же температурѣ, есть 537 единицъ тепла.

Скрытая теплота спирта при температурѣ 78° (точка кипѣнія спирта подъ давленіемъ атмосферы) есть 214 единицъ. Скрытая теплота эѳира при 47° (температура его кипѣнія подъ давленіемъ атмосферы) есть 90 единицъ тепла.

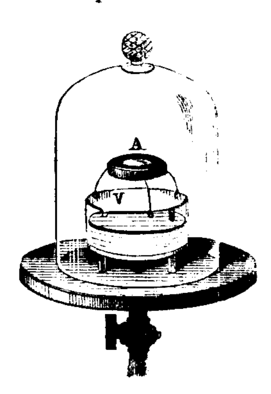
Точное опредѣленіе скрытой теплоты пара основывается на методѣ перегонки (о процессѣ перегонки говорено въ § 186 и фиг. 232 даетъ понятіе о томъ какъ производится опытъ). Жидкость доводится до кипѣнія и образующійся изъ нея паръ проводится въ холодильникъ погруженный въ воду сосуда, представляющаго собою большой калориметръ. Паръ, обращаясь въ жидкое состояніе, отдаетъ теплоту которая и нагрѣваетъ воду калориметра, пока установится равновѣсіе температуры между ею и холодильникомъ съ собравшеюся въ немъ жидкостію. Наблюдая повышеніе температуры воды и свѣшивая количество жидкости осѣвшее въ холодильникѣ можно опредѣлить количество теплоты доставляемой даннымъ вѣсомъ пара при обращеніи въ жидкое состояніе въ условіяхъ опыта. Такъ какъ въ концѣ опыта мы получаемъ тѣло въ томъ же самомъ состояніи въ какомъ оно было въ началѣ (можно допустить что жидкость въ котлѣ, когда ее начали нагрѣвать, имѣла именно ту температуру при какой получаемъ ее въ холодильникѣ) и такъ какъ кромѣ процесса парообразованія и осажденія, совершившагося въ замкнутомъ пространствѣ, никакихъ иныхъ дѣйствій не произошло, то мы въ правѣ заключить, что въ калориметрѣ при обращеніи пара въ жидкость собрано именно то количество тепла какое было въ котлѣ потрачено при превращеніи жидкости въ паръ. Главное экспериментальное затрудненіе методы въ томъ чтобы паръ не охладился на пути отъ котла къ холодильнику.

Устроивъ котелъ и холодильникъ такъ чтобъ они могли вынести значительное внутреннее давленіе, нагоняютъ въ нихъ сжатый воздухъ. Воздухъ этотъ образуетъ, въ пространствѣ свободномъ отъ жидкости, какъ бы искусственную сильно давящую атмосферу, въ которой происходитъ образованіе и сгущеніе пара. Производя опыты точно также какъ въ случаѣ простаго атмосфернаго давленія можно опредѣлить скрытую

теплоту пара, образующагося изъ жидкости нагрѣтой выше температуры при которой она кипитъ подъ атмосфернымъ давленіемъ, выше 100° въ случаѣ воды. Произведенные по указанному способу опыты Реньйо показали что для обращенія килограмма воды при 100° въ паръ при ста же градусахъ потребно 537 единицъ тепла. Если прибавимъ къ этому числу 100 единицъ (что̀ приблизительно требуется для нагрѣванія килограмма воды на 100°), то получимъ число 637, представляющее то что̀ называется *полною* теплотою пара при 100°; т.-е. количество тепла потребное дабы килограммъ воды взятой при 0° превратить въ паръ при 100° и притомъ такъ что предварительно вода нагрѣвается въ *жидкомъ* видѣ до 100°, и потомъ превращается въ паръ уже безъ измѣненія температуры. Еслибы вода въ котлѣ была подъ давленіемъ 8 атмосферъ, то ее можно было бы нагрѣть въ жидкомъ видѣ до 172°, причемъ для нагрѣванія каждаго килограмма потребовалось бы около 172 единицъ тепла, если допустить что первоначальная температура была 0°. Изъ опытовъ Реньйо слѣдуетъ что для обращенія килограмма воды при 172° въ паръ при той же температурѣ требуется 487 единицъ. Сумма 487+172=659 выразитъ *полную* теплоту при 172°; число же 487 есть собственно скрытая теплота при этой температурѣ. Видимъ что полная теплота пара съ повышеніемъ температуры возрастаетъ, скрытая уменьшается. Количество *полной теплоты* водянаго пара, при разныхъ температурахъ T, Реньйо выразилъ формулою $Q = 606{,}5 + 0{,}305\,T$.

§ 203. Холодъ чрезъ испареніе. Опыты Лесли и Вульстена.

*) Испареніе всегда сопровождается поглощеніемъ теплоты и чѣмъ быстрѣе оно происходитъ тѣмъ охлажденіе бываетъ значительнѣе. Чтобъ ускорить испареніе, Лесли (1811 г.) производилъ его въ безвоздушномъ пространствѣ, поглащая образующійся паръ тѣлами жадно его принимающими. „Я помѣщалъ, говоритъ онъ (подъ колоколомъ воздушнаго насоса), широкій и плоскій сосудъ съ крѣпкою сѣрною кислотою; надъ нимъ въ разстояніи двухъ или трехъ дюймовъ ставилъ металлическую *) чашечку, помѣщавшуюся на стеклянныхъ ножкахъ (фиг. 247). Въ чашечку наливалась дистиллированная вода. Какъ скоро воздухъ былъ выкаченъ, вода начинала образовывать ледяные кристаллы, причемъ не рѣдко замѣчались въ значительномъ количествѣ воздушные пузыри“. Явленіе происходитъ оттого что паръ съ поверхности воды стремительно и постоянно истекаетъ въ пустоту, будучи непрерывно поглащаемъ сѣрною кислотой, причемъ вода быстро охлаждается, такъ какъ значительное отдѣляющееся количество пара потребляетъ много теплоты для своего образованія.



Фиг. 247.

Образовавшійся ледъ продолжаетъ испаряться и мало-по-малу „исчезаетъ, причемъ кислота во все время сохраняетъ сравнительно высокую температуру. Кусокъ льда въ дюймъ толщиною исчезаетъ такимъ образомъ въ 5 или 6 дней“. Лесли производилъ опытъ также въ нѣсколько иной формѣ. Онъ наливалъ воду въ стеклянную чашечку, прикрытую крышечкой которую можно было приподнять помощію стержня, проходившаго чрезъ верхъ колпака насоса. Выкачавъ воздухъ онъ приподнималъ крышечку. „Менѣе чѣмъ чрезъ 5 минутъ появлялись ледяныя иголки... и скоро образовался твердый, вполнѣ прозрачный ледъ“.

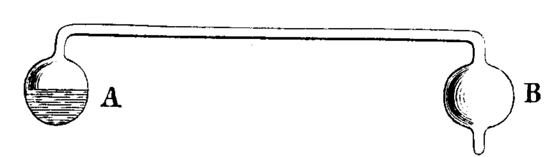
Холодомъ при испареніи объясняется также слѣдующій опытъ Вульстена (1813 г.). „Возьмемъ, говоритъ онъ, стеклянную трубку съ внутреннимъ діаметромъ около $^1/_4$ дюйма,

*) Профессоръ Лесли, англійскій ученый пріобрѣвшій извѣстность въ началѣ нынѣшняго столѣтія въ особенности изслѣдованіями о лучистой теплотѣ, родился въ Шотландіи въ 1766 г., умеръ въ 1832 году.

Вульстенъ (Wollaston) англійскій физикъ и химикъ, замѣчательнѣйшіе труды котораго по части физики относятся къ области оптики и гальванизма, родился въ 1766 году, учился въ Кембриджѣ, былъ врачомъ, но потомъ оставилъ практику и занялся исключительно физикой и химіей. Открытіемъ способа обработки платины пріобрѣлъ значительное состояніе.

*) Опытъ удается скорѣе, если вмѣсто металлической чашечки взять слой пробки съ углубленіемъ и обжечь ее на свѣчкѣ съ поверхности. Вода налитая въ углубленіе, не смачивая пробки, представляетъ съ краевъ выпуклую поверхность значительной величины, и образующійся паръ, вслѣдствіе дурной проводимости пробки, заимствуетъ теплоту исключительно отъ воды.

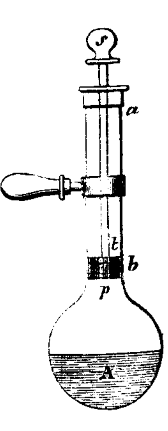
оканчивающуюся двумя шариками (фиг. 248) около дюйма въ



Фиг. 248.

діаметрѣ. Въ одномъ находится нѣкоторое количество воды, изъ остальнаго пространства воздухъ старательно выгнанъ... Для этого второй шарикъ оканчивается капиллярною оконечностію; воду въ первомъ шарикѣ кипятятъ продолжительное время, пока весь воздухъ вытѣснится паромъ, стремительно выходящимъ чрезъ капиллярное отверстіе втораго шарика, которое затѣмъ помощію пламени лампы.. запаивается герметически. Если воздухъ успѣшно выгнанъ, то погрузивъ пустой шарикъ въ холодящую смѣсь, замѣтимъ что вода въ шарикѣ *A* замерзнетъ въ нѣсколько минутъ, хотя бы онъ былъ на разстояніи двухъ, трехъ футовъ. Паръ сгущается въ пустомъ шарикѣ, и происшедшая пустота вызываетъ образованіе новаго количества пара въ шарикѣ *A*, сопровождающееся соотвѣтствующимъ поглощеніемъ тепла.... Холодящее дѣйствіе смѣси какъ бы передается на разстояніе». Вульстенъ назвалъ снарядъ свой *кріофоромъ*.

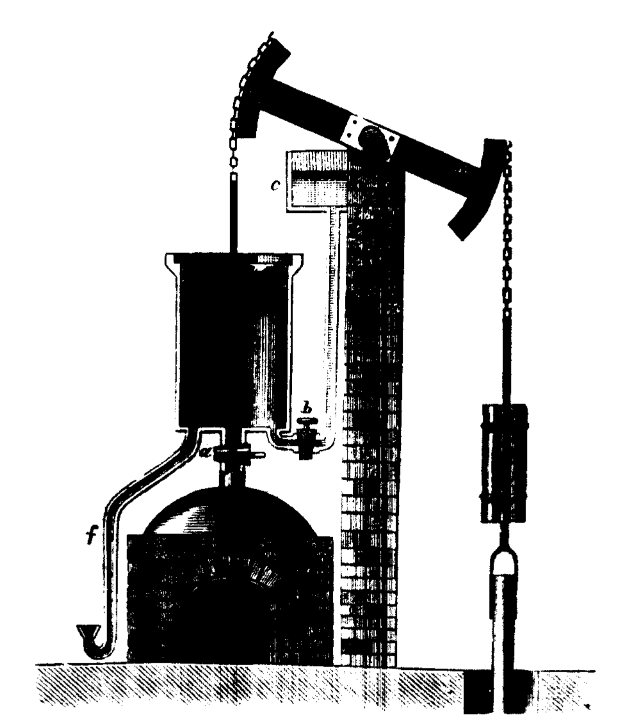
§ 204. Употребленіе пара какъ двигателя въ паровой машинѣ. Свойство пара, находящагося въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости, быстро пріобрѣтать при нагрѣваніи сильную упругость и столь же быстро терять ее при охлажденіи, дѣлаетъ паръ особенно удобнымъ для употребленія въ качествѣ двигателя. Приборъ изображенный на фиг. 249 даетъ понятіе о томъ какъ можно воспользоваться паромъ для этой цѣли. Если нагрѣть воду въ сосудѣ *A*, то образовавшійся паръ подыметъ къ верху поршень *p* находившійся внизу въ началѣ опыта.



Фиг. 249.

Охладимъ паръ, опуская, напримѣръ, сосудъ *A* въ холодную воду. Увидимъ что атмосферное давленіе заставитъ поршень опуститься, такъ какъ, вслѣдствіе охлажденія, паръ подъ поршнемъ сгустится и утратитъ бо́льшую часть своей упругости.

Папинъ и другіе ученые конца XVII и начала XVIII вѣка дѣлали попытки приложить паръ къ движенію машинъ. Но первая машина, работавшая паромъ, которая вошла въ употребленіе въ промышленности, а именно для выкачиванія воды въ англійскихъ копяхъ, была машина Ньюкомена *. Фиг. 251 даетъ понятіе о ея



Фиг. 251.

*) Изобрѣтеніе относится къ началу XVIII столѣтія. Ньюкоменъ Newcomen) былъ машинистъ, имѣвшій свою кузницу въ Дармутѣ въ Девонширѣ.

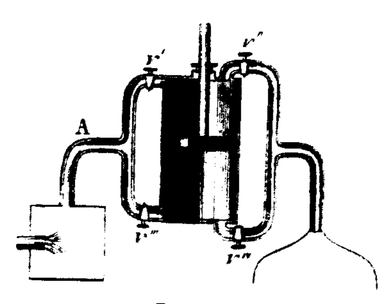
устройствѣ и дѣйствіи. Поршень цилиндра соединенъ цѣпью съ коромысломъ, на другомъ концѣ котораго привѣшенъ стержень насоса качающаго воду. На этотъ поршень сверху дѣйствуетъ атмосферное давленіе, снизу давленіе пара, входящаго въ цилиндръ изъ котла чрезъ кранъ *a*. Когда давленіе пара равно атмосферному (для этого паръ долженъ быть приблизительно при 100°), то стержень насоса, по своей тяжести, опускается внизъ, а поршень идетъ кверху. Затѣмъ, помощію крана *b* изъ резервуара *c* впускаютъ внутрь цилиндра холодную воду. Паръ быстро сгущается; подъ поршнемъ образуется разрѣженное пространство, и атмосферное давленіе, не уравновѣшиваясь снизу давленіемъ пара, заставляетъ поршень опускаться внизъ, подымая стержень насоса и производя работу. Чтобъ уводить изъ цилиндра воду, какъ впрыснутую такъ и образовавшуюся чрезъ сгущеніе, служитъ трубка *f*, имѣющая на концѣ открывающійся кверху клапанъ и погруженная этимъ концомъ въ воду. Когда цилиндръ наполненъ горячимъ паромъ съ давленіемъ нѣсколько превышающимъ атмосферное, паръ этотъ чрезъ клапанъ выгоняетъ воду. Когда же начинается сгущеніе, атмосферное давленіе получаетъ преобладаніе и закрываетъ клапанъ. Машина потребляла весьма значительное количество топлива, несмотря на усилія механиковъ, направленныя на то чтобы усовершенствовать грѣющій очагъ и предохранить нагрѣтыя части отъ охлажденія. Главный недостатокъ ея былъ въ томъ что охлажденіе пара, требующее значительнаго количества воды, производилось въ самомъ цилиндрѣ, и новый входящій паръ вступалъ въ цилиндръ охлажденный градусовъ до 40, въ которомъ еще оставалось не мало воды при той же и даже низшей температурѣ. Полезное дѣйствіе начиналось когда цилиндръ и вода вновь нагрѣвались до 100°

Въ 1764 году Уаттъ (Watt),*) тогда строитель физическихъ инструментовъ въ Глазго, исправляя модель Ньюкоменовой машины, принадлежавшую университету, усмотрѣлъ недостатки этой машины и, найдя средство къ ихъ устраненію, создалъ *паровую машину*, составившую эпоху въ исторіи промышленности. „Прежде, всего говоритъ онъ, я былъ удивленъ, видя какое (значительное) требуется количество впрыскиваемой воды и какъ сильно она нагрѣвается отъ малаго количества пара входящаго въ цилиндръ. Думая не сдѣлалъ ли я какой ошибки, я произвелъ особый опытъ... (Я убѣдился) что вода въ

*) Уаттъ родился въ 1736 году въ Шотландіи, по восемнадцатому году учился въ Лондонѣ у одного инструментальнаго мастера. Великое изобрѣтеніе паровой машины доставило ему извѣстность и состояніе. Умеръ въ 1819 году, будучи членомъ Лондонскаго Королевскаго Общества и однимъ изъ восьми иностранныхъ членовъ Парижской Академіи Наукъ.

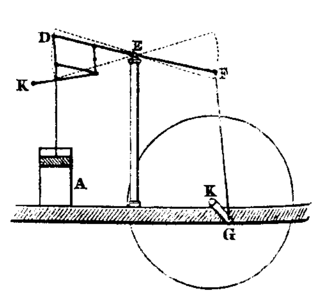
формѣ пара въ состояніи, сгущаясь, нагрѣть до 100° въ шесть разъ большее по вѣсу количество воды въ жидкомъ видѣ, и наоборотъ такимъ количествомъ воды нельзя сгустить болѣе пара. Пораженный этимъ фактомъ и не понимая его причины, я передалъ его моему другу Блакку, который тогда и изложилъ мнѣ свое ученіе о скрытой теплотѣ, составленное имъ за нѣсколько времени до этой эпохи (лѣто 1764) и на которое я, если и слышалъ, не обращалъ, занятый своимъ дѣломъ, особеннаго вниманія, пока не наткнулся на фактъ, подтверждающій эту превосходную теорію... Размышляя далѣе, я убѣдился, что для наилучшаго употребленія пара необходимо: 1) чтобы цилиндръ постоянно поддерживался столь же нагрѣтымъ какъ входящій паръ, а съ другой стороны чтобы 2) вода какъ получаемая отъ сгущенія пара такъ и впрыскиваемая была, напротивъ, охлаждена до 40° и ниже, буде возможно. Средство удовлетворить этимъ требованіямъ не тотчасъ представилось моему уму, но позже, въ 1765 г., я сообразилъ что если установить сообщеніе между цилиндромъ содержащимъ паръ и особымъ сосудомъ, изъ котораго былъ бы выкаченъ воздухъ, то паръ, какъ упругая среда, тотчасъ ринется въ пустой сосудъ и будетъ переходить пока не установится равновѣсіе; а если сосудъ поддерживать холоднымъ помощію впрыскиванія или инымъ способомъ, паръ будетъ продолжать переходить пока весь не сгустится“. Этотъ сосудъ прибавленный Уаттомъ называется *холодильникомъ*. Чтобъ удалять скопляющуюся въ холодильникѣ воду Уаттъ прибавилъ насосъ, приводимый въ движеніе самою машиной. Далѣе, такъ какъ въ Ньюкоменовой машинѣ, гдѣ поршень опускается внизъ давленіемъ атмосферы, верхняя часть цилиндра даетъ свободный доступъ воздуха, „который дѣйствуетъ охлаждающимъ образомъ на цилиндръ“, то Уаттъ возымѣлъ мысль „пустить паръ поверхъ поршня и заставить его дѣйствовать вмѣсто атмосферы“. Отсюда планъ машины съ *двойнымъ дѣйствіемъ*.

Фиг. 252 можетъ дать понятіе объ основной идеѣ машины Уатта съ *двойнымъ дѣйствіемъ* и съ *холодильникомъ*. Отворивъ краны V^{IV} и V^{I}, дозволимъ пару изъ котла входить въ нижнюю часть цилиндра подъ поршень, тогда



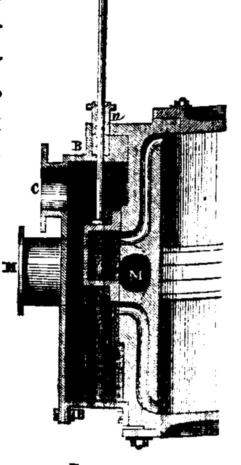
Фиг. 252.

какъ паръ находящійся надъ поршнемъ приведемъ въ сообщеніе съ холодильникомъ, гдѣ онъ и сгустится, быстро утрачивая упругость. Давленіе пара снизу подыметъ поршень вверхъ. Открывъ краны V'' и V''' и закрывъ V' и V^{IV}, измѣнимъ сообщеніе цилиндра съ котломъ и холодильникомъ. Горячій паръ вступитъ въ верхнюю часть цилиндра и будетъ давить на поршень, тогда какъ давленіе нижняго пара быстро ослабнетъ, вслѣдствіе сообщенія съ холодильникомъ. Поршень опустится внизъ и т. д.



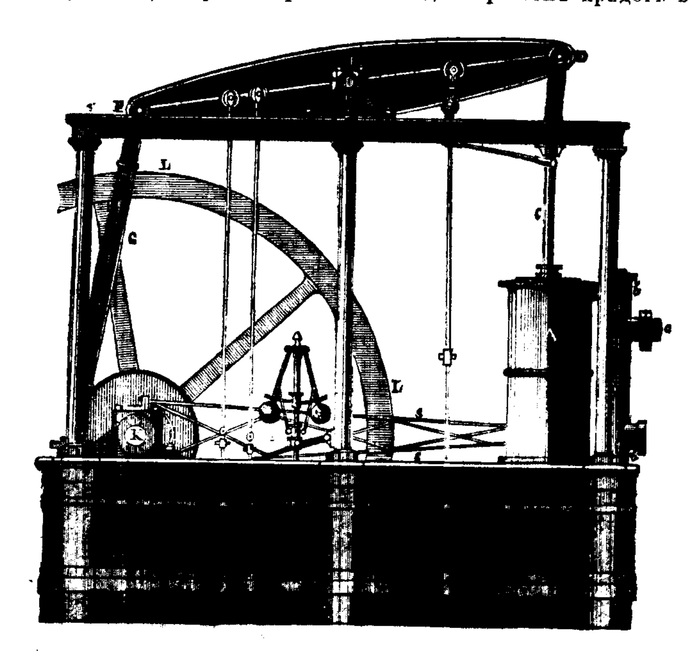
Фиг. 253.

Фиг. 253 указываетъ какимъ образомъ поршень, двигаясь *вверхъ и внизъ*, можетъ заставить *вращаться* валъ съ укрѣпленнымъ на немъ тяжелымъ *маховымъ колесомъ*. Поршень качаетъ коромысло DF (называемое *шатуномъ*), которое въ свою очередь, подымая и опуская конецъ G *кривошипа* KG укрѣпленнаго на оси вала K, приводитъ этотъ валъ во вращеніе. Фиг. 255 даетъ болѣе точное понятіе о расположеніи различныхъ частей паровой машины съ холодильникомъ.


Фиг. 254.

Распредѣленіе пара дѣлается, конечно, не помощію крановъ, какъ на фиг. 252, а производится самою машиною чрезъ передвиженіе особыхъ коробокъ, называемыхъ *золотниками*. Фиг. 254 даетъ понятіе о ихъ устройствѣ. Паръ входитъ чрезъ каналъ C въ коробку BB и, при положеніи золотника изображенномъ на чертежѣ, проходитъ подъ поршень; паръ же изъ верхней части цилиндра входитъ внутрь коробки N и чрезъ отверстіе

M (на темномъ фонѣ) выводится трубою M. Когда золотникъ N опустится, паръ собравшійся подъ поршнемъ придетъ въ


Фиг. 255.

сообщеніе съ выводящею трубою M, паръ же изъ котла чрезъ каналъ C и коробку BB получитъ доступъ въ верхнюю часть цилиндра. На фиг. 255 можно отчасти видѣть, какимъ образомъ передвигается золотникъ дѣйствіемъ самой машины. На валѣ K насаженъ кругъ съ рамкой, такъ что центръ его не совпадаетъ съ центромъ вала (*эксцентрикъ*). При вращеніи вала увлекаемая кругомъ рамка передвигается то въ ту, то въ другую сторону, передавая помощію ломанаго рычажка движеніе стержню золотника.

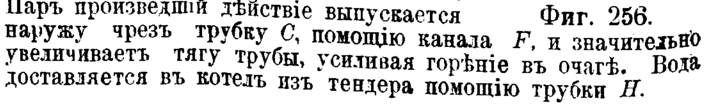
Еслибы паръ вмѣсто того чтобы приниматься въ холодильникъ прямо выпускался наружу, то имѣли бы машину *съ высокимъ давленіемъ*. Въ такихъ машинахъ о которыхъ упоминаетъ Уаттъ, хотя самъ не строилъ таковыхъ, упругость пара значительно больше чѣмъ

въ машинахъ съ холодильникомъ и равняется, напримѣръ, шести, восьми атмосферамъ *.

Прибавимъ еще, что вмѣсто того чтобы во все время движенія поршня пускать паръ въ цилиндръ, держа его въ сообщеніи съ котломъ, найдено полезнымъ прекращать доступъ пара въ извѣстный моментъ. Оставшійся паръ продолжаетъ давить на поршень съ ослабѣвающею, по мѣрѣ расширенія, силою. Хотя чрезъ это полное дѣйствіе нѣсколько уменьшается, но за то потребляется меньшее количество пара, и движеніе поршня становится болѣе мягкимъ.

Паръ дѣйствующій въ машинѣ образуется въ цилиндрическомъ котлѣ A (въ разрѣзѣ изображенномъ на фиг. 256) снабженномъ кипятильными трубами B и B. Пламя очага охватываетъ эти трубы и нижнюю часть котла, быстро нагрѣвая воду. Паръ проводится въ машину чрезъ трубку a.

Котелъ локомотива, влекущаго поѣздъ по желѣзной дорогѣ, устраивается особымъ образомъ съ цѣлью возможно быстраго образованія пара. Котелъ составляетъ самое тѣло локомотива. Пламя очага A (фиг. 257) и горячіе продукты горѣнія входятъ во многія трубки, проходящія внутри котла и погруженныя въ его воду. Вода нагрѣвается и испаряется на огромной поверхности нѣсколькихъ сотъ метровъ. Скопившійся въ верхней части паръ отводится трубкою DD',— отверстіемъ которой машинистъ управляетъ помощію ручки d,—въ цилиндръ E (такой же находится и съ другой стороны). гдѣ ходитъ поршень, приводящій во вращеніе колеса локомотива. Паръ произведшій дѣйствіе выпускается наружу чрезъ трубку C, помощію канала F, и значительно увеличиваетъ тягу трубы, усиливая горѣніе въ очагѣ. Вода доставляется въ котелъ изъ тендера помощію трубки H.

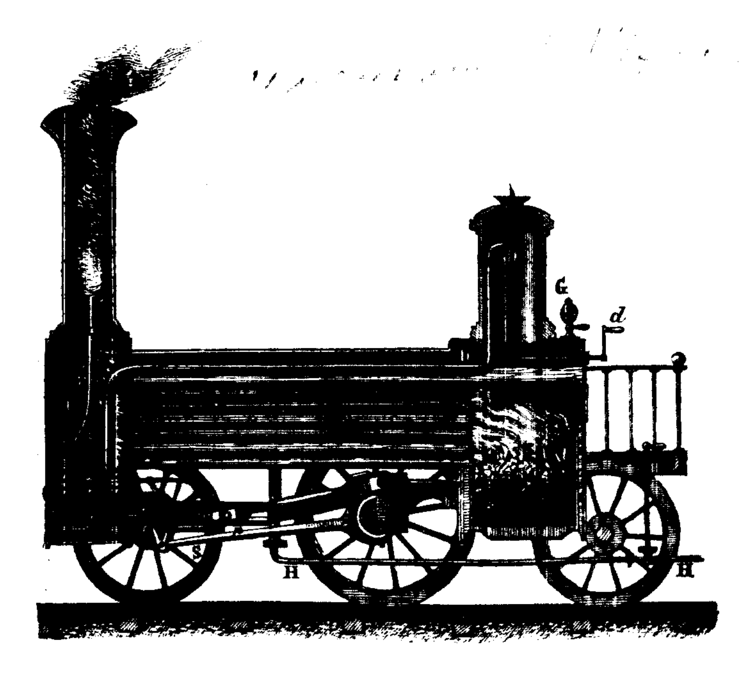


Фиг. 256.

§ 205. Гигрометрія или ученіе о влажности воздуха. Химическая метода опредѣленія влажности.

Въ окружающемъ насъ воздухѣ всегда находится большее или меньшее количество водяного пара. Если принести въ комнату холодное тѣло съ гладкою поверхностью, то оно тотчасъ потускнѣетъ вслѣдствіе осѣвшаго тонкаго слоя воды. Явленіе происходитъ отъ того что слой воздуха прилежащій къ тѣлу охлаждается до такой степени, что количество заключающагося въ немъ пара превышаетъ то, которое потребно для насыщенія при наступившей температурѣ: избытокъ осаждается въ жидкомъ видѣ.

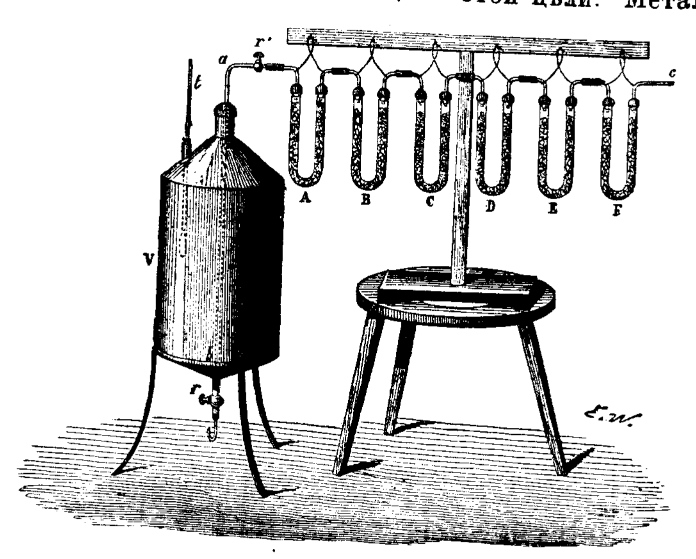
*) Машины съ холодильникомъ бываютъ *низкаго* давленія, когда упругость пара не превышаетъ $1\frac{1}{2}$ атмосферъ, и *средняго*, когда упругость равна отъ 3—5 атмосферъ; послѣднія могутъ устраиваться и безъ холодильника.



Фиг. 257.

Чтобъ опредѣлить количество пара въ воздухѣ пропускаютъ опредѣленный объемъ воздуха чрезъ жадно поглащающія воду тѣла и измѣряютъ получен-

ное ими приращеніе вѣса. Фиг. 258 даетъ понятіе о снарядѣ, употребляемомъ для этой цѣли. Метал-



Фиг. 258.

лическій сосудъ, называемый *аспираторомъ*, наполняютъ водой и соединяютъ съ рядомъ трубокъ *B*, *C*, *D*... наполненныя кусочками пемзы пропитанной крѣпкою сѣрною кислотой. Открывъ кранъ аспиратора выпускаютъ мало-по-малу заключающуюся въ немъ воду. Она замѣщается воздухомъ, входящимъ чрезъ открытое отверстіе послѣдней трубки *F* и проходящимъ чрезъ всѣ трубки, оставляя заключающуюся въ немъ влагу, поглащаемую сѣрною кислотой. Когда истеченіе окончилось, трубки взвѣшиваются: приращеніе ихъ вѣса показываетъ сколько водянаго пара, при условіяхъ опыта, заключалось въ воздухѣ, наполнившемъ аспираторъ, объемъ котораго опредѣленъ предварительнымъ испытаніемъ.

Чтобъ опредѣлить наибольшее количество пара,

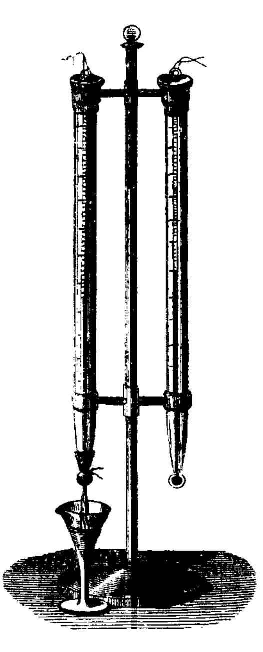
какое можетъ заключаться въ данномъ объемѣ воздуха при опредѣленной температурѣ, воздухъ этотъ *насыщаютъ* паромъ, заставляя проходить чрезъ сосудъ наполненный намоченными губками и потомъ уже проникать чрезъ осушающія трубки въ аспираторъ. (Въ естественномъ состояніи воздухъ лишь въ исключительныхъ случаяхъ бываетъ насыщенъ паромъ.) Этимъ путемъ можно убѣдиться что количество пара потребное для насыщенія 1 кубическаго метра воздуха при разныхъ температурахъ равняется тому какое требуется для насыщенія такого же *пустаго* пространства при той же же температурѣ и которое опредѣляется теоретически по формуламъ § 196. Такимъ образомъ кубическій метръ воздуха заключаетъ въ себѣ слѣдующія количества пара:

При температурѣ	вѣсъ пара
−10°	2.30 грамма
0	4,36 „
10	9,36 „
15	12.74 „
20	17,15 „
25	22,83 „

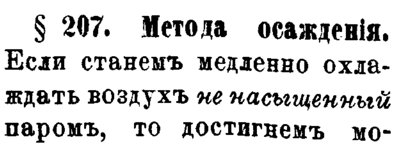
Отношеніе того количества пара, какое въ данномъ случаѣ находится въ нѣкоторомъ объемѣ воздуха къ тому, какое содержалось бы въ этомъ объемѣ, еслибы воздухъ былъ насыщенъ паромъ при температурѣ опыта, называется *влажностью* воздуха.

§ 206. Опредѣленіе влажности помощію психрометра. Опредѣленіе влажности помощію химической методы, хотя и самое точное, требуетъ продолжительнаго и нелегкаго опыта. Потому для производства наблюденій надъ влажностію пользуются обыкновенно другими пріемами. Наиболѣе употребительный пріемъ есть одновременное наблюденіе двухъ термометровъ, одного обыкновеннаго, другаго постоянно увлажняемаго. Снарядъ состоящій изъ такихъ двухъ термомет-

ровъ (фиг. 259) носитъ названіе *психрометра*. На поверхности мокраго термометра вода испаряется, поглащая теплоту; потому термометръ этотъ охлаждается и показываетъ температуру ниже температуры окружающаго воздуха, о которой узнаемъ по показанію сухаго термометра. И эта разность тѣмъ значительнѣе чѣмъ суше воздухъ. Составлены таблицы, пользуясь которыми можно, по даннымъ разности температуръ и атмосферному давленію (испареніе происходитъ быстрѣе когда давленіе это меньше), — найти соотвѣтствующую влажность.

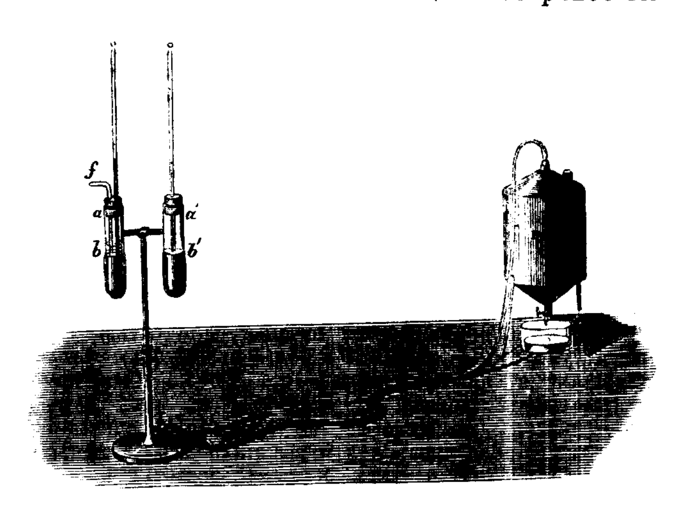


Фиг. 259.



§ 207. Метода осажденія. Если станемъ медленно охлаждать воздухъ *не насыщенный* паромъ, то достигнемъ момента, когда того количества пара, какое есть въ этомъ воздухѣ (и которое при данной температурѣ не насыщаетъ его), будетъ, при пониженной температурѣ, достаточно для его насыщенія, такъ что, при дальнѣйшемъ охлажденіи, паръ станетъ осѣдать. Осѣданіе послѣдуетъ тѣмъ раньше, чѣмъ ближе къ состоянію насыщенія былъ первоначально воздухъ. На этомъ фактѣ основывается гигрометръ англійскаго ученаго Даніеля (1820 г.), существенно измѣненный Реньйо, который далъ снаряду слѣдующую нынѣ употребительную форму. Дѣйствіемъ аспиратора D (фиг. 260) пропускается болѣе или менѣе быстрый потокъ воз-

духа чрезъ небольшую трубочку, которой нижняя часть металлическая съ блестящею поверхностью и



Фиг. 260.

которая наполнена эѳиромъ. Воздухъ, входящій чрезъ отверстіе f, проходя пузырьками чрезъ эѳиръ, производитъ его усиленное испареніе, сопровождающееся охлажденіемъ жидкости и облегающихъ ее стѣнокъ. Наступитъ моментъ, когда блестящая поверхность станетъ тускнѣть. Маленькій термометръ, погруженный въ эѳиръ, покажетъ температуру окружающаго снарядъ неохлажденнаго воздуха (термометръ этотъ вставленъ въ трубочку подобную первой, но безъ эѳира). Чѣмъ значительнѣе, при данной температурѣ, разность показаній этихъ термометровъ, тѣмъ суше воздухъ.

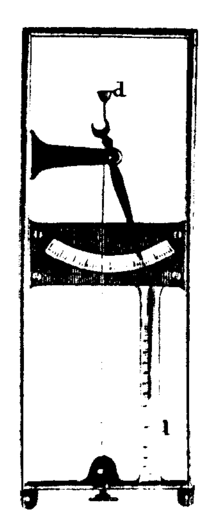
Допустимъ что въ данномъ случаѣ температура воздуха есть 20°, и пусть опытъ съ гигрометромъ Реньйо показалъ что воздухъ этотъ надо охладить до 10° чтобы появилось осѣданіе пара. Спрашивается, какъ велика была влажность. Извѣстно что для насыщенія паромъ кубическаго метра при 20° потребно 17,15 грамм. воды; при 10° потребно 9.36 гр. Съ перваго взгляда

можетъ казаться что, такъ какъ, по свидѣтельству опыта, того количества пара, какое было въ воздухѣ, оказалось достаточнымъ для насыщенія при 10°, то раздѣливъ 9,36 на 17,15 получимъ влажность. Но это было бы не точно, ибо воздухъ отъ охлажденія нѣсколько сжался, и паръ заключавшійся прежде въ объемѣ, напримѣръ, кубическаго метра, теперь заключается въ объемѣ меньшемъ прежняго *, и слѣдовательно разчитывать количество пара мы должны по этому уменьшенному объему, въ кубическомъ же метрѣ его было меньше чѣмъ 9,36. Но если вмѣсто того чтобы сравнивать количества пара будемъ сравнивать его упругости, то разсужденіе будетъ проще. Отдѣлимъ мысленно нѣкоторую часть воздуха съ содержащимся въ немъ паромъ отъ остальной массы. Вообразимъ, напримѣръ, что онъ заключается въ цилиндрѣ и отдѣленъ отъ остальной массы подвижнымъ поршнемъ. Атмосферное давленіе, дѣйствующее на внѣшнюю сторону поршня, съ внутренней уравновѣшивается отчасти упругостью воздуха, отчасти упругостью пара. Станемъ охлаждать этотъ воздухъ какъ въ нашемъ случаѣ отъ 20° до 10°. Упругость отъ охлажденія должна бы ослабѣть, но такъ какъ поршень подвиженъ, то атмосферное давленіе передвигаетъ его до тѣхъ поръ пока чрезъ сжатіе возстановится равновѣсіе давленій и какъ воздухъ такъ и паръ достигнутъ прежней упругости. Это разсужденіе показываетъ что упругость пара остается постоянною при охлажденіи и паръ при 10° имѣетъ ту же упругость какую имѣлъ при 20° (онъ сталъ холоднѣе, но за то болѣе сжатъ: одно вознаграждаетъ другое). Но при 10° паръ имѣетъ въ нашемъ случаѣ наибольшую упругость, какая возможна при этой температурѣ, ибо начинаетъ осѣдать. Упругость эту знаемъ изъ таблицъ: она есть 9,2. Такова слѣдовательно была упругость и при 20°, когда паръ этотъ не насыщалъ воздуха. А такъ какъ при той же температурѣ отношеніе упругостей (§ 196) равняется отношенію количествъ, то слѣдов. опредѣливъ отношеніе 9,2 къ 17,4 (наибольшая упругость при 20°), чрезъ то самое опредѣлимъ отношеніе того количества пара какое есть въ воздухѣ къ тому, какое должно быть при насыщеніи, то-есть его *влажность*. Будемъ имѣть $\frac{9,2}{17,4} = 0,53$. Итакъ чтобы найти влажность воздуха, надо наибольшую упру-

*) Меньшемъ, какъ не трудно доказать, въ отношеніи $\frac{273+10}{273+20} = 0,966$ ибо въ такомъ именно отношеніи уменьшился объемъ при охлажденіи отъ 20° до 10°. Пара было слѣдовательно $9,36 \times 0,966$. Раздѣливъ это число на 17,15 получимъ влажность $= 0,53$.

гость, соотвѣтствующую температурѣ осѣданія пара, раздѣлить на наибольшую упругость пара, соотвѣтствующую дѣйствительной температурѣ воздуха въ данномъ случаѣ.

§ 208. Гигрометръ Соссюра состоитъ изъ очищеннаго отъ жира волоса, укрѣпленнаго однимъ концомъ, затѣмъ обмотаннаго разъ вокругъ легкаго блока со стрѣлкой и натянутаго небольшимъ грузомъ (фиг. 261) привѣшеннымъ къ другому концу. Когда воздухъ становится сырѣе, волосъ, поглащая влагу, удлиняется, и грузъ заставляетъ блокъ со стрѣлкою повернуться на большее или меньшее число градусовъ, какъ можно видѣть на циферблатѣ. Снарядъ градуируютъ такъ чтобы въ совершенно сухомъ воздухѣ стрѣлка стояла при 0 скалы, въ насыщенномъ паромъ при 100. Инструментъ не можетъ впрочемъ служить для точнаго опредѣленія влажности и даетъ только приблизительныя указанія о возрастаніи или уменьшеніи сырости.



Фиг. 261.

Тѣла впитывающія въ себя влагу вообще называются гигроскопическими. Поглощеніе влаги нерѣдко сопровождается измѣненіями тѣла. Бумага мокрая занимаетъ бóльшую поверхность чѣмъ сухая; потому при наклейкѣ рисовальныхъ листовъ ихъ смачиваютъ, дабы при осушеніи бумага была сильнѣе натянута. Дерево разбухаетъ отъ сырости (мебель изъ сыраго дерева растрескивается когда высыхаетъ). Волокна пеньки, льна удлиняются отъ влажности, но скрученныя изъ нихъ веревки и канаты укорачиваются. Когда подымали обелискъ Сикста V на площадѣ Петра въ Римѣ, то смачиваніе веревки помогло постановкѣ.

§ 209. Водяные осадки въ атмосферѣ. *Туманъ* образуется когда вслѣдствіе охлажденія распростра-

ненный въ воздухѣ паръ достигаетъ точки насыщенія и сгущается въ мельчайшія капельки и, можетъ-быть, пузырьки. Туманъ находящійся на болѣе или менѣе значительномъ разстояніи отъ земли образуетъ *облака.* **При низкихъ температурахъ сгущеніе пара порождаетъ мельчайшія ледяныя иголочки, носящіяся въ воздухѣ и могущія въ свою очередь образовать цѣлыя облака. Когда сгустившійся паръ даетъ замѣтныя капли, падающія внизъ, то происходитъ** *дождь.* **Изъ ледяныхъ иголочекъ слагаются болѣе или менѣе правильныя фигуры, падающія въ формѣ** *снѣга.* **Быстрое охлажденіе водяныхъ капель порождаетъ, малоизслѣдованнымъ еще процессомъ, кусочки льда, называемые** *градомъ.*

Осажденіе влаги на тѣлахъ, особенно на травѣ, въ ясныя ночи, когда въ атмосферѣ нѣтъ видимыхъ признаковъ осадка, составляетъ явленіе *росы,* **а если влага осѣдаетъ въ твердомъ видѣ—***инея.*

До изслѣдованій (1814 г.) англійскаго ученаго начала нынѣшняго столѣтія доктора Уэльса (Wells) не было истинной теоріи росы, и ученые, по большей части, принимали, что роса есть родъ мельчайшаго невидимаго дождя, образующагося въ нижнемъ слоѣ атмосферы, вслѣдствіе охлажденія воздуха и падающаго на землю, охлаждая предметы на которые попадаетъ. Уэльсъ, трудъ котораго Джонъ Гершель *) приводитъ какъ примѣръ изученія явленій природы путемъ индуктивнаго изслѣдованія, указаннымъ Бекономъ, обратилъ вниманіе на слѣдующія наблюденія: 1) Роса появляется обильно при чистомъ небѣ и безвѣтренной погодѣ; облака и вѣтеръ препятствуютъ ея образованію. Наблюдая количество росы принимаемое небольшими клубами шерсти (дюйма два въ діаметрѣ) помѣщенными такъ что зрѣлище небеснаго свода было отъ нихъ болѣе или менѣе заграждено, онъ нашелъ что рособразованіе тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе часть видимаго неба. 2) Количество осѣдающей росы находится въ зависимости отъ поверхности и вообще механическаго состоянія тѣла. На деревянныхъ стружкахъ росы осѣдаетъ болѣе чѣмъ на кускѣ дерева. Волокнистыя тѣла, хлопокъ, трава особенно въ обиліи получаютъ росу. 3) Металлы, особенно широкія дощечки, получаютъ менѣе росы чѣмъ поставленны въ тѣ же условія дурнопроводящія тѣла, напримѣръ стекло. Уэльсъ убѣдился далѣе, что во всѣхъ случаяхъ образованія росы температура тѣла бываетъ *ниже* температуры окружающаго воздуха, и слѣдовательно появленіе росы есть слѣдствіе предшествовавшаго охлажденія тѣла, а не наоборотъ, какъ думали прежде, когда приписывали охлажденіе тѣла паденію холодныхъ капелекъ росы. Уэльсъ замѣтилъ даже что при обильномъ появленіи росы тѣло становится нѣсколько теплѣе чѣмъ какъ было до ея появленія (слѣдствіе скрытой теплоты пара). Помѣщая одинъ термометръ въ травѣ, другой въ воздухѣ на высотѣ 4 футовъ, Уэльсъ находилъ, что трава во всѣхъ случаяхъ когда образуется роса имѣла температуру ниже на 7, 8 и даже болѣе градусовъ Фаренгейта сравнительно съ воздухомъ. Охлажденіе тѣлъ на земной поверхности въ безоблачную ночь ниже температуры воздуха есть слѣдствіе испусканія теплоты тѣлами чрезъ теплопрозрачную воздушную оболочку, какую представляетъ собою атмосфера, въ небесное пространство, оказывающее охлаждающее дѣйствіе, какое оказалъ бы весьма холодный сводъ раскинутый надъ землею. Тѣла хорошо проводящія, какъ металлы, при этомъ менѣе охлаждаются на поверхности, такъ какъ обладаютъ слабымъ лучеиспусканіемъ и легче получаютъ притокъ теплоты изнутри и отъ воздуха чѣмъ тѣла дурнопроводящія. Дурные проводники съ большою притомъ поверхностію, какъ волокнистыя тѣла испытываютъ, напротивъ, наиболѣе сильное охлажденіе. Особенно сильное охлажденіе волокнистыхъ тѣлъ, какъ трава, комки шерсти и т. п., обусловливается, впрочемъ, кромѣ значительности лучеиспусканія тѣмъ что охлажденный воздухъ остается безъ движенія въ ихъ промежуткахъ и не смѣняется болѣе теплыми частицами.

*) Знаменитый англійскій астрономъ, недавно умершій.

§ 210. Задачи на скрытую теплоту льда и пара. 1) Сколько потребно воды при опредѣленной температурѣ, для того чтобы растопить опредѣленное количество льда при 0° или при $-t°$ и получить смѣсь при 0° или при другой температурѣ. 2) Сколько потребно льда, чтобы понизить на опредѣленное число градусовъ температуру даннаго количества воды, заключенной въ сосудѣ (вѣсъ, температура воды и сосуда, удѣльная теплота вещества сосуда предполагаются извѣстными)?

3) Сколько потребно пара при 100°, для того чтобы нагрѣть опредѣленное количество воды отъ $t°$ до $t'°$? Подобная задача въ случаѣ пара при температурѣ $T°$. 4) Сколько потребно воды при $t°$, для того чтобъ обратить въ воду при опредѣленной температурѣ вѣсъ P пара при 100° и при $T°$.

III. Начала механической теоріи теплоты.

§ 211. Мнѣнія ученыхъ конца прошлаго вѣка. Лавуазье и Лапласъ въ своемъ *Мемуарѣ о теплотѣ* (1780 г.) такъ говорятъ о мнѣніяхъ, которыя раздѣляли ученыхъ ихъ эпохи по отношенію къ теоріи теплоты: „Физики раздѣлены въ воззрѣніяхъ на природу теплоты. Многіе разсматриваютъ теплоту какъ жидкость распространенную во всей природѣ и проникающую всѣ тѣла въ зависимости отъ ихъ температуры и частной способности удерживать ее. Она можетъ входить съ ними въ соединеніе и въ такомъ состояніи перестаетъ дѣйствовать на термометръ и сообщаться отъ одного тѣла другому; находясь же въ состояніи свободы, позволяющемъ ей приходить въ равновѣсіе въ тѣлахъ, она образуетъ то что называемъ *свободною теплотою* (въ противоположность скрытой). Другіе физики думаютъ что теплота есть не что̀ иное какъ результатъ незамѣтныхъ движеній частицъ матеріи. Извѣстно что тѣла, даже самыя плотныя наполнены огромнымъ числомъ поръ или маленькихъ пустотъ, объемъ которыхъ можетъ значительно превосходить объемъ заключающій ихъ матеріи; эти пустыя пространства даютъ малѣйшимъ частицамъ тѣла свободу качаться во всѣ стороны, и естественно думать что частицы эти постоянно находятся въ колебаніи, которое, если оно увеличится до извѣстнаго предѣла, можно раздѣлить ихъ и разложить тѣло. Это-то внутреннее движеніе и составляетъ, согласно физикамъ о которыхъ говоримъ, явленіе теплоты". Въ настоящее время послѣднее мнѣніе сдѣлалось общимъ, и физики принимаютъ что теплота есть движеніе. Возбужденіе теплоты треніемъ есть наиболѣе наглядное доказательство этого положенія.

§ 212. Переходъ механической работы въ теплоту. Опыты Румфорда и Деви надъ возбужденіемъ теплоты треніемъ. Въ 1798 году Румфордъ сообщилъ Лондонскому Королевскому Обществу любопытныя наблюденія надъ теплотой развиваемой треніемъ. «Имѣя, говоритъ онъ, въ послѣднее время высшее наблюденіе надъ сверленіемъ пушекъ въ Мюнхенскомъ цейхгаузѣ, я былъ пораженъ значительнымъ возвышеніемъ температуры, какого въ короткое время достигаетъ пушка при сверленіи, и въ особенности сильнымъ нагрѣваніемъ отдѣляющихся при этомъ опилокъ: ихъ температура превышала, какъ показалъ мнѣ опытъ, температуру кипѣнія воды. Чѣмъ болѣе размышлялъ я объ этомъ явленіи, тѣмъ болѣе казалось оно мнѣ заслуживающимъ вниманія. Отъ строгаго изслѣдованія его я могъ ожидать болѣе

глубокаго проникновенія въ скрытую природу теплоты и основательныхъ заключеній о существованіи или несуществованіи «огненной жидкости», вопросѣ, относительно котораго мнѣнія философовъ во всѣ времена были весьма раздѣлены.... Откуда приходитъ теплота, развиваемая механическимъ дѣйствіемъ сверленія? Происходитъ ли она отъ металлическихъ опилокъ, отдѣляемыхъ сверломъ отъ остальной массы? Въ такомъ случаѣ, согласно новѣйшему ученію о скрытомъ теплѣ и теплородѣ, не только должна перемѣниться теплоемкость частей метала, превратившихся въ опилки, но и перемѣна эта должна быть весьма значительна, чтобъ ею можно было объяснить всю произведенную теплоту... Опытъ показалъ мнѣ, что металлъ при такомъ превращеніи въ опилки никакого замѣтнаго измѣненія теплоемкости не претерпѣваетъ.. Теплота эта не можетъ, слѣдовательно, произойдти на счетъ скрытой теплоты опилокъ... Я взялъ пушку въ томъ видѣ какъ она вышла изъ литейной, помѣстилъ ее горизонтально въ сверлильной машинѣ... Просверлилъ углубленіе на семь дюймовъ въ цилиндрическомъ концѣ ея, который отдѣлилъ отъ остальной массы тонкою шейкой... вставилъ въ это углубленіе тупое сверло, приводимое въ движеніе около своей оси лошадью и назначенное для того чтобы треніемъ возбуждать теплоту, нажимая на неподвижное дно цилиндра... Длинноватый четыреугольный деревянный ящикъ, съ двумя отверстіями, изъ которыхъ чрезъ одно проходила шейка цилиндра, чрезъ другое стержень сверла, облекалъ собою цилиндръ... Отверстія эти помощію колецъ изъ промасленной кожи были сдѣланы непроницаемыми для воды; ящикъ наполнялся холодною водой (при 60° по Фаренг.), и машина приводилась въ движеніе... Черезъ часъ термометръ, опущенный въ воду, показывалъ 107° Ф., чрезъ полтора часа 142° Ф.; чрезъ два часа достигъ 178°; чрезъ два часа двадцать минутъ 200°, и наконецъ чрезъ два часа съ половиною вода закипѣла! Трудно описать изумленіе, изобразившееся на лицахъ присутствовавшихъ при видѣ такой массы воды (около 19 фунтовъ или 10 литровъ) безъ огня доведенной до кипѣнія. И хотя собственно во всемъ этомъ явленіи не было ничего особенно необычайнаго, признаюсь однако открыто, что оно мнѣ доставило истинно дѣтскую радость, которую я, еслибы гнался за славой серіознаго философа, долженъ былъ бы скорѣе скрывать чѣмъ разоблачать... Не забудемъ что при всѣхъ этихъ опытахъ источникъ развиваемаго треніемъ тепла, очевидно, является неисчерпаемымъ. А едва ли нужно замѣчать, что нѣчто способное безгранично доставляться отдѣльнымъ тѣломъ или системой тѣлъ не можетъ быть матеріальною субстанціей. Мнѣ кажется весьма труднымъ, почти невозможнымъ составить опредѣленное понятіе о вещи, способной возбуждаться и сообщаться какъ возбуждается и сообщается теплота въ этихъ опытахъ, если не допустить что это есть дви-

женіе. Я далекъ отъ желанія утверждать что знаю какъ или какими средствами, какимъ механическимъ устройствомъ возбуждается, поддерживается, распространяется въ тѣлахъ этотъ особый родъ движенія, который, какъ мы приняли, составляетъ теплоту... Но если механизмъ теплоты и принадлежитъ къ тайнамъ природы, быть-можетъ, недостижимымъ человѣческому разумѣнію, то это еще никакъ не должно усыплять нашу ревность въ разысканіи законовъ ея дѣйствій... Еще никто, конечно, въ здравомъ разсудкѣ не утверждалъ что нашелъ механизмъ тяготѣнія. И однакоже какое великое открытіе сдѣлалъ нашъ безсмертный Ньютонъ тѣмъ что нашелъ законы его дѣйствія».

Черезъ нѣсколько лѣтъ Деви сдѣлалъ опытъ еще болѣе убѣдительный. Ему удалось, взаимнымъ треніемъ двухъ кусковъ льда, значительную часть нхъ обратить въ воду. Ледъ для обращенія въ воду требуетъ значительнаго количества теплоты, теплоемкость же его вдвое менѣе теплоемкости воды; несомнѣнно, слѣдовательно, что «абсолютное количество тепла образовавшейся воды гораздо болѣе того какое заключалось во льдѣ». Откуда же пришла эта теплота? Она не могла быть доставлена льдомъ, не могла быть доставлена, какъ показываетъ Деви, окружающими тѣлами. Она возникла вслѣдствіе самой операціи тренія и есть, слѣдовательно, не что иное какъ возбужденное движеніе.

§ 213. Переходъ теплоты въ работу; аналогія указанная Карно. Если помощію механической работы можно произвесть теплоту, какъ въ опытахъ Румфорда и Деви, то и наоборотъ теплота можетъ быть источникомъ работы. Такъ бываетъ, напримѣръ, въ машинахъ, дѣйствующихъ чрезъ огонь, какъ паровая. Непосредственнымъ двигателемъ въ паровой машинѣ служитъ паръ, но паръ получаетъ свою силу вслѣдствіе нагрѣванія, и такимъ образомъ первоначальный источникъ дѣйствія есть теплота. Сади Карно *) (въ 1824 г въ сочиненіи «О движущей силѣ огня") указалъ на замѣчательную аналогію между машинами работающими водой и тѣми гдѣ теплота есть источникъ дѣйствія. Вода приводитъ въ движеніе водяное колесо своимъ вѣсомъ, вслѣдствіе того что потокъ, стекая сверху внизъ, давитъ въ своемъ паденіи на лопатки колеса. *Паденіе* воды есть необходимое условіе ея дѣйствія: вода не образовала бы потока еслибъ ея резервуаръ не былъ выше того мѣста куда она стекаетъ. Чѣмъ паденіе ея значительнѣе, тѣмъ значительнѣе и дѣйствіе. Подобнымъ образомъ теплота можетъ быть источникомъ механическаго дѣйствія, т.-е. преобразоваться въ работу, только если есть тѣла разной температуры, и она переходитъ отъ теплаго къ

*) Французскій ученый, сынъ извѣстнаго математика, дѣйствовавшаго въ эпоху революціи.

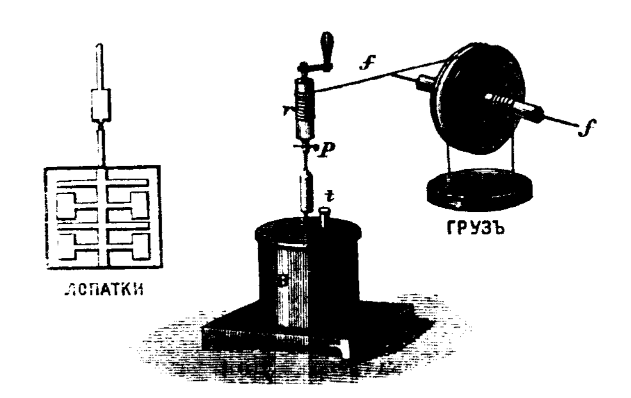
холодному. Котелъ паровой машины соотвѣтствуетъ верхнему резервуару воды, холодильникъ мѣсту куда она стекаетъ, оставляя колесо. Чѣмъ значительнѣе разность температуръ верхняго и нижняго источника тѣмъ значительнѣе можетъ быть произведенная работа. Карно, разсматривавшій теплоту какъ особое тонкое вещество, полагалъ что она переходитъ отъ верхняго источника къ нижнему какъ вода въ колесѣ, не утрачиваясь въ своемъ количествѣ. Въ дѣйствительности, количество тепла приносимое въ холодильникъ оказывается менѣе того какое было взято паромъ изъ котла: часть теплаго потока потратилась на пути, такъ какъ работа машины произошла на его счетъ и есть не иное что какъ преобразованіе теплоты. Тѣмъ не менѣе указанное Карно условіе перехода теплоты въ работу (необходимость тѣлъ неодинаково нагрѣтыхъ) сохраняетъ свою силу, и выраженное въ иной формѣ составляетъ такъ называемый *второй законъ механической теоріи теплоты*.

§ 214. Размышленія доктора Майера. Необходимость тѣсной связи между теплотой и механическою работой докторъ Майеръ (врачъ въ Гейльбронѣ, одинъ изъ основателей современнаго ученія о взаимномъ соотношеніи и переходахъ явленій природы) вывелъ *) на основаніи слѣдующихъ физіологическихъ соображеній. Наше тѣло само источникъ теплоты и притомъ въ двоякой формѣ. Вопервыхъ, мы имѣемъ собственную внутреннюю теплоту, вслѣдствіе которой температура крови выше температуры окружающаго воздуха. Вовторыхъ, мы можемъ искусственно, работою рукъ (натирая, напримѣръ, одинъ о другой два куска дерева) возбудить теплоту въ тѣлахъ на которыя дѣйствуемъ. Назовемъ послѣдняго рода теплоту *внѣшнею*. На счетъ чего образуется та и другая теплота? Происхожденіе внутренней теплоты объясняется медленнымъ горѣніемъ матеріаловъ нашего тѣла сожигаемыхъ кислородомъ, какой мы поглощаемъ изъ воздуха при дыханіи. На счетъ того же ли источника должно отнести и внѣшнюю теплоту въ случаѣ когда производится таковая?«*Одна* ли, спрашивалъ Майеръ, прямымъ путемъ внутри тѣла развивающаяся теплота или *сумма* этой теплоты и теплоты (внѣшней) получаемой непрямымъ путемъ должна быть отнесена на счетъ процесса горѣнія?... Основное положеніе физіологической теоріи горѣнія то что количество тепла развивающееся при сгораніи даннаго вещества *неизмѣнно* и не зависитъ отъ обстоятельствъ сопровождающихъ сожиганіе. Отсюда *in specie* слѣдуетъ что химическое дѣйствіе горѣнія и чрезъ жизненный процессъ не можетъ претерпѣть количественныхъ измѣненій, и что живой организмъ со всѣми его загадками и чудесами не можетъ произвести теплоту изъ ничего. Если принять эту физіологическую ак-

*) Въ сороковыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія.

сіому, то отвѣтъ на вопросъ представляется самъ собою. Очевидно что вся совокупность производимой организмомъ теплоты не можетъ быть *болѣе* имѣющихъ въ немъ мѣсто химическихъ дѣйствій. Иначе пришлось бы приписать организму только что отвергнутую способность порождать теплоту изъ ничего. Должно слѣдовательно принять: что совокупность теплоты, развиваемой организмомъ,—отчасти непосредственно, отчасти путемъ механической работы,—количественно соотвѣтствуетъ или равняется дѣйствію сгоранія (dem Verbrennungs-Effecte quantitativ entspricht oder gleich ist). Но отсюда съ такою же необходимостью слѣдуетъ, что теплота, производимая живымъ тѣломъ путемъ механической работы (внѣшняя) должна находиться съ этою работою въ неизмѣнномъ количественномъ отношеніи. Ибо еслибы помощію различныхъ механическихъ пріемовъ можно было *тою же работой*, при томъ же органическомъ процессѣ сгоранія, произвести *разныя* количества тепла, то отсюда слѣдовало бы что при томъ же потребленіи горючаго матеріала производимая теплота можетъ быть больше и меньше, что противно принятому положенію... Такъ какъ, далѣе, между механическимъ дѣйствіемъ животнаго тѣла и другими неорганическими родами работы нѣтъ никакого качественнаго различія, то слѣдовательно *неизмѣнное количественное отношеніе между теплотою и работою есть постулятъ* (необходимое слѣдствіе) *физіологической теоріи горѣнія*". Опредѣленной работѣ соотвѣтствуетъ опредѣленное, *эквивалентное* ей количество теплоты. Въ этомъ *первый законъ* механической теоріи тепла. Принимая это положеніе сравнимъ состоянія живаго тѣла въ двухъ случаяхъ: 1) когда оно, поглощая кислородъ, не производитъ внѣшней и работы и 2) когда оно работаетъ. Пусть количеству p кислорода сожигающаго матеріалъ тѣла соотвѣтствуетъ развитіе количества Q теплоты. Тогда въ первомъ случаѣ все это количество останется въ организмѣ въ формѣ внутренней теплоты. Но если тѣло производитъ внѣшнюю работу, то p граммовъ кислорода разовьютъ внутри количество A теплоты, которое менѣе Q. Остальное количество $Q—A$ можетъ быть также получено въ формѣ теплоты, если работа будетъ исключительно употреблена на доставленіе теплоты путемъ, напримѣръ, тренія. Если же работа будетъ употреблена на поднятіе груза, побѣжденіе какого-нибудь препятствія и т. д., то она представитъ не самую теплоту, а величину ей эквивалентную, которую можно выразить въ механическихъ единицахъ. Во всякомъ случаѣ то же количество горючаго матеріала въ организмѣ работающемъ производитъ менѣе тепла чѣмъ въ неработающемъ. Это кажется, съ перваго взгляда, противорѣчащимъ общеизвѣстному явленію что работа согрѣваетъ. Но дѣло въ томъ что дыханіе при работѣ происходитъ сильнѣе, и потому больше поглощается кислорода и сожигается большее количество матеріала. Для оправданія положенія надобно сравнивать одинаковыя количества матеріала.

§ 215. Опыты Джоля *) для опредѣленія механическаго эквивалента теплоты. Опредѣлить *механическій эквивалентъ теплоты* значитъ найти величину работы, которая, преобразуясь въ теплоту, доставляетъ количество теплоты равное единицѣ. Эту работу, наоборотъ, доставляетъ единица теплоты, когда теплота преобразуется въ работу. Для точнаго опредѣленія эквивалента Джоль прибѣгъ къ измѣренію количества теплоты возбуждаемой треніемъ. Въ сосудѣ B (фиг. 260) нѣсколько болѣе фута высотою, налитомъ водою или иною жид-



Фиг. 260.

костью, проходитъ вертикальная ось съ лопатками (она отдѣльно изображена слѣва на чертежѣ), приводимая въ вращеніе помощію снура наматывающагося на блокъ. Опускающійся грузъ, заставляя блокъ вращаться, приводитъ въ движеніе ось съ лопатками. Жидкость сопротивляется движенію лопатокъ; обнаруживается треніе и, если паденіе груза повторить нѣсколько разъ, то можно обнаружить повышеніе температуры жидкости. Опытъ представляетъ переходъ механической работы въ теплоту. Дѣйствительно, еслибы грузъ падалъ не увлекая лопатокъ, то онъ, двигаясь ускорительно, пріобрѣлъ бы при высотѣ паденія 1.6 метра, какъ было въ опытѣ Джоля, значительную скорость 5,6 метра въ секунду; но вслѣдствіе сопротивленія лопатокъ онъ движется равномѣрно, пріобрѣтя весьма незначительную скорость 60 миллиметровъ въ секунду,—скорость съ какою онъ двигался бы еслибы, напримѣръ, вмѣсто лопатокъ увлекалъ нѣкоторый грузъ близкій себѣ по вѣсу, подымалъ бы, напримѣръ, въ

*) Джоль (Joule) англійскій ученый, первыя работы котораго относятся къ сороковымъ годамъ и исполнены въ Манчестерѣ.

ведрѣ воду. Въ послѣднемъ случаѣ снарядъ производилъ бы *механическую работу*, ибо мы имѣли бы нѣкоторый грузъ (опредѣленное количество воды) поднятый на опредѣленную высоту. Величину работы получили бы помноживъ поднятый грузъ на пройденную высоту. Но такъ какъ поднятый грузъ былъ бы почти равенъ опускающемуся, то приблизительно величину работы мы получили бы, помноживъ вѣсъ опускающагося груза на высоту съ какой онъ опустился. Еслибы, какъ въ опытѣ Джоля, грузъ вѣсилъ 26,3 килограмма, а высота была 1,6 метра, то работа была бы $26{,}3 \times 1{,}6 = 42{,}1$ килограмметра. Въ опытѣ Джоля никакого груза не подымалось, никакого вообще механическаго результата работы не получено: лопатки и вода послѣ опыта остались совершенно въ томъ же видѣ: какъ были до опыта; но дѣйствіе не прошло безслѣдно, въ результатѣ получено *нѣкоторое количество теплоты*, а именно, когда опусканіе груза было повторено сряду 20 разъ и когда слѣдовательно величина механической работы, еслибъ онъ производилъ таковую, была бы $42{,}1 \times 20 = 842$ килограмметра, температура калориметра представлявшаго собою 6,316 килограммовъ воды повысилась на $0^{\circ}.313$ стоградуснаго термометра. Заключаемъ, что 842 килограмметра механической работы, преобразуясь въ теплоту, доставляютъ $6{,}316 \times 0{,}313 = 1{,}976$ единицъ теплоты. Но если работа 842 килограмметра соотвѣтствуетъ или *эквивалентна* 1,976 единицамъ теплоты, то *одной единицѣ* теплоты должна соотвѣтствовать работа $842 : 1{,}976 = 426{,}06$ килограмметра. Это и есть *механическій эквивалентъ теплоты*. При болѣе точномъ истолкованіи опыта Джоля получается 424,3 килограмметра, число почти не отличающееся отъ оправданнаго теоретическими соображеніями числа 425, принимаемаго нынѣ за точную величину механическаго эквивалента тепла.

§ 216. Энергія кинетическая и потенціальная. Переходъ работы въ теплоту и обратно есть одинъ изъ частныхъ случаевъ перехода явленій природы однихъ въ другія, подчиняющагося общему великому закону природы, именуемому *закономъ сохраненія энергіи*. Тѣла движущіяся или находящіяся въ условіяхъ, могущихъ породить движеніе, считаются обладающими *энергіей*. Движущееся тѣло обладаетъ явною или *кинетическою энергіей*, называемою также *энергіей движенія*. Тѣло находящееся въ покоѣ, но подверженное дѣйствію силы и помѣщенное такъ что дѣйствіе это можетъ породить движеніе, имѣетъ *потенціальную энергію* или *энергію положенія*. Замѣтимъ что тѣло можетъ быть подвержено дѣйствію силы и не имѣть энергіи. Камень лежащій на землѣ подверженъ дѣйствію тяжести, прижимается къ землѣ; но онъ не имѣетъ запаса энергіи. „Грузъ, покоящійся на землѣ, не есть сила“, провозгласилъ въ своемъ первомъ мемуарѣ (1842 г.) основатель ученія объ энергіи,

докторъ Майеръ,—употребляя терминъ сила въ смыслѣ энергіи. Камень, поднятый на высоту, напротивъ того, обладаетъ запасомъ потенціальной энергіи, ибо дѣйствующая на него,—та же какъ и въ первомъ случаѣ,—сила тяжести имѣетъ теперь предстоящій путь, на протяженіи котораго она можетъ оказать дѣйствіе. Два тѣла, притягивающіяся взаимно и раздѣленныя промежуткомъ, имѣютъ запасъ потенціальной энергіи; они не будутъ его имѣть какъ скоро ихъ взаимное влеченіе удовлетворится, и они придутъ въ прикосновеніе. Частицы кислорода, разсѣянныя въ атмосферѣ, и частицы угля каменноугольныхъ пластовъ земной коры имѣютъ химическое сродство. Пока соединеніе еще не произошло, мы имѣемъ предъ собою источникъ огромнаго запаса энергіи, которымъ можемъ воспользоваться. Уголь сгораетъ, соединяясь съ кислородомъ; сродство удовлетворено, образовавшееся тѣло уже не имѣетъ потенціальной энергіи, какою обладали его части до соединенія. Начало сохраненія энергіи состоитъ въ томъ, что *энергія неразрушима*, какъ неразрушимо само вещество. Энергія можетъ мѣнять форму: потенціальная преобразоваться въ кинетическую, кинетическая въ потенціальную; кинетическая сама перейти изъ одной формы въ другую, но абсолютно *энергія утрачиваться не можетъ*. Все разнообразіе явленій природы есть рядъ переходовъ энергіи изъ одной формы въ другую, причемъ общій ея запасъ остается неизмѣннымъ.

Укажемъ ближе примѣръ перехода энергіи изъ одной формы въ другую. Имѣемъ тѣло, на которое дѣйствуетъ сила. Если никакая другая сила не дѣйствуетъ на это тѣло, и оно свободно, то дѣйствіе силы проявится сообщеніемъ ему движенія или *кинетической энергіи* (или приращеніемъ этой энергіи въ случаѣ, если оно уже имѣетъ нѣкоторую скорость). Но пусть тѣло, на которое дѣйствуетъ разсматриваемая сила, подвержено въ то же время дѣйствію другихъ силъ, препятствующихъ его движенію отъ дѣйствія разсматриваемой силы. Пусть, напримѣръ, силою руки я подымаю грузъ, вопреки его тяжести, или завожу пружину, побѣждая ея упругость. Тогда кинетическая энергія, сообщаемая тѣлу дѣйствующею силой, будетъ менѣе чѣмъ въ первомъ случаѣ; сообщаемая кинетическая энергія можетъ даже равняться нулю: я поднялъ грузъ съ земли на крышу и оставилъ его тамъ въ покоѣ; я завелъ пружину и оставилъ ее въ напряженномъ состояніи, не давая развертываться. Я не сообщилъ тѣлу кинетической энергіи, но это еще не значитъ, чтобы дѣйствіе силы не привело ни къ какому результату. Тѣлу сообщена *потенціальная энергія*: грузъ поднятъ на высоту, откуда онъ можетъ упасть; пружина заведена и способна произвести дѣйствіе.

Но представимъ себѣ тѣло лежащее у поверхности земли на горизонтальной плоскости. Тѣло это не имѣетъ энергіи. По отношенію къ движенію по плоскости его можно разсма-

тривать свободнымъ, такъ какъ тяжесть на это движеніе не имѣетъ вліянія. Станемъ везти это тѣло по плоскости съ постоянною скоростію. Чтобы произвести такое движеніе, мы должны постоянно тянуть тѣло, т.-е. дѣйствовать на него нѣкоторою силой. Это дѣйствіе не придаетъ тѣлу кинетической энергіи, ибо тѣло, какъ сказано, идетъ съ постоянною скоростію. Но тѣло чрезъ передвиженіе на другое мѣсто по горизонтальной плоскости не пріобрѣтаетъ также и потенціальной энергіи: дѣйствіе силы идетъ исключительно на то чтобы побѣждать *треніе*. Здѣсь дѣйствіе, повидимому, утрачивается совсѣмъ, и начало сохраненія не имѣетъ мѣста. На самомъ дѣлѣ не такъ. Дѣйствіе не утрачивается; оно преобразуется лишь въ новую форму—тѣло получаетъ кинетическую энергію незамѣтную для наблюдателя, ибо она пріобрѣтается не тѣломъ какъ цѣлымъ, а *частицами* тѣла. Треніемъ порождается тепло которое есть не что иное какъ *частичная кинетическая энергія тѣла.*

§ 217. **Обзоръ съ точки зрѣнія механической теоріи явленій, сопровождающихъ нагрѣваніе тѣлъ.** Когда тѣло пріобрѣтаетъ опредѣленное количество тепла, то при этомъ вообще обнаруживаются слѣдующія дѣйствія: 1) увеличивается частная *кинетическая энергія* тѣла, т.-е. усиливается быстрота движенія его частицъ вслѣдствіе того что нагрѣвающій источникъ сообщаетъ нагрѣваемому тѣлу часть своего движенія. 2) Частицы удаляются одна отъ другой вопреки препятствіямъ какія противопоставляетъ передвиженію ихъ взаимодѣйствіе. Происходитъ явленіе подобное тому какое бываетъ когда грузъ вопреки тяжести подымается на высоту. Производится *внутренняя работа*, на которую и потребляется часть теплоты доставляемой нагрѣвающимъ тѣломъ. Передвинутыя частицы пріобрѣтаютъ, подобно поднятымъ грузамъ, *потенціальную энергію.* Когда передвиженіе частицъ достигло извѣстнаго предѣла, тѣло измѣняетъ состояніе переходитъ изъ твердаго въ жидкое, изъ жидкаго въ газообразное состояніе. Потребляемая внутреннею работою въ этомъ случаѣ теплота нагрѣвающаго источника составляетъ то, что называется *скрытою теплотою.* Когда тѣло возвращается въ прежнее состояніе, потенціальная энергія его частицъ обращается въ кинетическую, скрытая теплота становится явною. 3) Тѣло, расширяясь, побѣждаетъ внѣшнее давленіе, подъ какимъ находится, и слѣдовательно производитъ *внѣшнюю работу.* Въ случаѣ нагрѣванія твердыхъ или жидкихъ тѣлъ расширеніе незначительно и внѣшняя работа имѣетъ обыкновенно малую величину. Въ случаѣ расширяющагося газа, напротивъ, внѣшняя работа играетъ важную роль, внутренняя же весьма незначительна, такъ что при нагрѣваніи газовъ можно принимать, что теплота источника идетъ лишь на два дѣйствія: увеличеніе кинетической энергіи, т.-е. возвышеніе температуры, и внѣшнюю работу, которую не трудно вычислить, зная давленіе подъ какимъ газъ находится. Вообще газообразныя тѣла разсматриваются какъ совокупность отдѣльныхъ частицъ, находящихся на такихъ разстояніяхъ, что взаимныя дѣйствія ихъ не замѣтны, и несущихся каждая отдѣльно своимъ прямолинейнымъ путемъ, причемъ частицы эти сталкиваются между собою, отбрасываясь взаимно, такъ что каждая отдѣльная частица проходитъ весьма ломаный путь состоящій изъ малыхъ прямолинейныхъ элементовъ. Давленіе газа есть результатъ мельчайшихъ ударовъ, которые его частицы производятъ на стѣнки заключающаго его сосуда. Движеніе составляющее явную теплоту *твердаго* тѣла есть движеніе *колебательное.* Частицы качаются около положеній равновѣсія не оставляя ихъ окончательно. Въ жидкихъ тѣлахъ частицы колеблясь и вращаясь могутъ при томъ перемѣнять мѣсто не оставляя общей массы.

Прибавимъ въ заключеніе, что если теплота есть движеніе частицъ тѣла, то покой этихъ частицъ есть абсолютный холодъ или *абсолютный нуль температуры.* Такъ какъ упругость газа при охлажденіи уменьшается на каждый градусъ на $^1/_{273}$ долю его упругости при 0°, то (если допустить законъ этотъ и при очень низкихъ температурахъ) при — 273° газъ совсѣмъ утратитъ упругость: она будетъ = 0. А такъ какъ упругость газа есть слѣдствіе движенія его частицъ, то заключаемъ что частицы эти будутъ въ покоѣ. При такомъ (правда довольно произвольномъ) допущеніи, около —273° долженъ наступить абсолютный холодъ, и эта температура есть *абсолютный нуль* термометрической скалы. Если тѣло находится при $t°$, то $273+t$, называютъ его *абсолютною температурою.*

IV. Лучистое дѣйствіе тѣлъ.

(ЛУЧИ СВѢТА И ТЕПЛОТЫ.)

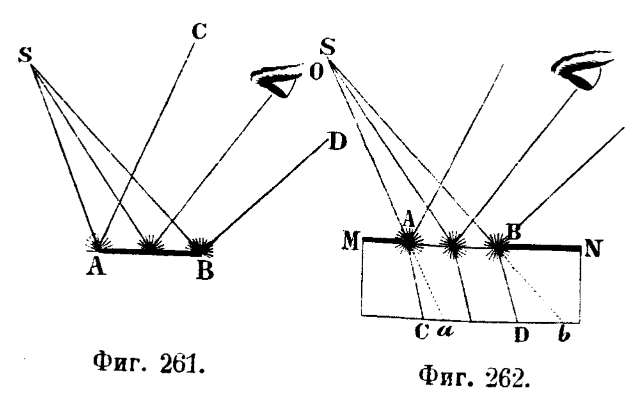
§ 218. **Нагрѣвающее и освѣщающее дѣйствіе тѣлъ.** Мы упоминали (§ 153) что нагрѣтыя тѣла непосредственно дѣйствуютъ на окружающіе предметы чрезъ пустоту, воздухъ, газы и вообще теплопрозрачныя тѣла. Тѣла высокой температуры, какъ солнце, пламя, раскаленные угли, кромѣ ощущенія тепла, возбуждаютъ въ насъ ощущеніе *свѣта*, дѣйствуя на глаза подобно тому какъ звучащія тѣла дѣйствуютъ на ухо. Благодаря этому дѣйствію, мы узнаемъ: 1) о существованіи такихъ *свѣтящихся* тѣлъ, 2) о существованіи

тѣлъ *темныхъ* сами по себѣ, но которыя будучи *освѣщены* дѣйствуютъ на глазъ точно такъ какъ и сами свѣтящіяся тѣла (луна, напримѣръ, тѣло темное, освѣщаемое солнцемъ, ночью свѣтитъ точно такъ какъ еслибъ имѣла собственный свѣтъ). Изученіе явленій тепла и свѣта во взаимной связи привело къ заключенію, что нагрѣваніе и возбужденіе ощущенія свѣта суть результаты одного и того же физическаго дѣйствія передаваемаго нагрѣтымъ тѣломъ чрезъ *эѳиръ* (§ 154) окружающимъ тѣламъ, и способнаго, когда оно удовлетворяетъ опредѣленнымъ условіямъ, раздражить зрительный нервъ. Подобно тому какъ не всякое дрожаніе порождаетъ звукъ, дѣйствіе нагрѣтаго тѣла, вообще порождающее теплоту, возбуждаетъ ощущеніе свѣта въ извѣстныхъ частныхъ случаяхъ. Возможность ощущать это дѣйствіе какъ свѣтъ облегчаетъ его изученіе, которое потому и начнемъ съ указанія главнѣйшихъ явленій свѣта, именуя *свѣтомъ* въ тѣсномъ смыслѣ *ощущеніе* доставляемое органомъ зрѣнія, а въ обширномъ и то явленіе которое способно возбудить это ощущеніе. Такъ понимается слово свѣтъ когда говорится о распрострнаеніи отраженіи, скорости свѣта и т. п.

§ 219. Понятіе о лучахъ свѣта, какъ основаніе геометрической оптики. Принесемъ въ темную комнату свѣтящееся тѣло небольшихъ размѣровъ. Мы можемъ разсматривать его какъ свѣтящуюся точку. Не трудно убѣдиться что освѣщающее дѣйствіе его происходитъ по *прямымъ* линіямъ, идущимъ отъ него во всѣ стороны какъ отъ центра. Дѣйствительно: 1) глазъ видитъ эту точку по направленію проведенной отъ нея къ нему прямой линіи, и всякое непрозрачное препятствіе скрываетъ ее отъ глаза; 2) непрозрачное тѣло оставляетъ за собою пространство называемое *тѣнью*, куда не проникаетъ свѣтъ и границы котораго опре-

дѣляются *прямыми* линіями, проведенными отъ свѣтящейся точки какъ центра касательно къ контуру тѣла. Отсюда идея о *лучахъ* свѣта по прямымъ линіямъ идущихъ во всѣ стороны отъ каждой свѣтящейся точки. Принявъ такое начало *прямолинейнаго* распространенія свѣта, мы можемъ изучать цѣлый рядъ вопросовъ о направленіи *свѣтовыхъ лучей*, независимо отъ теоретическаго представленія о томъ что̀ *физически* происходитъ въ средахъ гдѣ распространяется свѣтъ. Эти вопросы составляютъ область *геометрической* оптики.

Согласно началу прямолинейнаго распространенія свѣта, явленіе *освѣщенія* мы представляемъ себѣ слѣдующимъ образомъ. Когда свѣтъ попадаетъ на поверхность освѣщаемаго тѣла, то, если тѣло это *непрозрачно*, 1) часть свѣта, проникая внутрь тѣла, имъ поглощается, 2) другая часть *разсѣвается* такимъ образомъ, что каждая точка поверхности тѣла становится сама центромъ, отъ котораго, внѣ тѣла, во всѣ стороны идутъ лучи; эти-то лучи и позволяютъ намъ видѣть освѣщенный предметъ, дѣйствующій такимъ образомъ на нашъ глазъ точно также какъ еслибъ онъ былъ свѣтящійся; 3) часть *отражается* по опредѣленному направленію, такъ что падающій пучокъ ASB (фиг. 261) принимаетъ новое направленіе $CABD$, и если



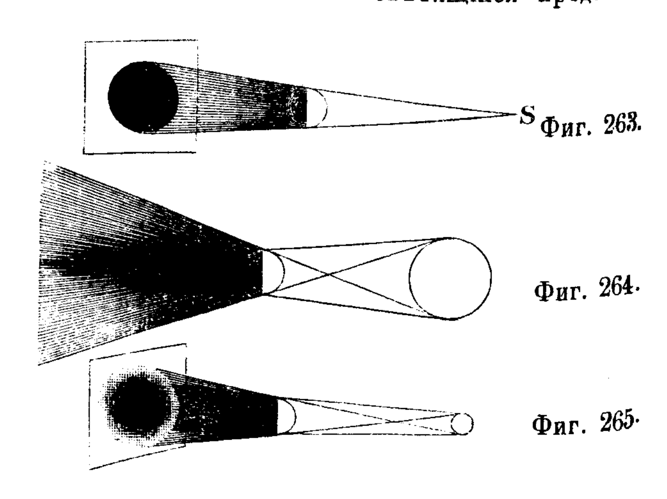
Фиг. 261.

Фиг. 262.

глазъ будетъ находиться, напримѣръ, въ O, то онъ получитъ, кромѣ лучей доставляемыхъ разсѣяніемъ (на чертежѣ ихъ начало намѣчено короткими штрихами), — лучи отраженные, приносящіе свѣдѣніе не объ освѣщенномъ предметѣ, а о свѣтящейся точ-

кѣ; и чѣмъ правильное отраженіе сильнѣе, тѣмъ менѣе замѣтна сама отражающая поверхность (зеркало). Если тѣло *прозрачно*, то только часть проникающаго внутрь свѣта поглащается; другая часть разсѣвается внутрь, и наконецъ значительная часть проникнувшихъ лучей измѣняетъ направленіе,— *преломляется*. Фиг. 262 даетъ понятіе о разсѣяніи и преломленіи пучка проникшаго чрезъ поверхность AB прозрачнаго тѣла и который еслибы не было преломленія освѣтилъ бы пространство ab, вслѣдствіе же преломленія освѣщающаго CD.

§ 220. Приложеніе начала прямолинейнаго распространенія къ объясненію явленія тѣни и полутѣни. Если свѣтящійся предметъ есть точка, то, какъ сказано, границы *тѣни* опредѣляются прямыми линіями, проведенными отъ этой точки какъ вершины къ контурамъ тѣла (фиг. 263). Если свѣтящійся предметъ



Фиг. 263.

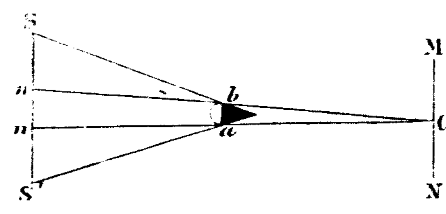
Фиг. 264.

Фиг. 265.

есть цѣлое свѣтящееся тѣло (какъ въ практикѣ всегда и бываетъ), то каждая его точка даетъ свой пучокъ задерживаемый непрозрачнымъ тѣломъ, и пространство за этимъ тѣломъ, куда не достигаетъ ни одинъ лучъ, образуетъ *полную тѣнь*, пространство же куда достигаютъ лучи лишь отъ нѣкоторой части свѣтящагося тѣла образуетъ *полутѣнь*.

Фиг. 264 и фиг. 265 изображаютъ предѣлы тѣни и полутѣни въ случаѣ когда свѣтящее и освѣщенное тѣло суть шары. На фиг. 265 шаръ освѣщающій менѣе освѣщаемаго, на фиг. 264 болѣе (какъ бываетъ, напримѣръ, въ случаѣ солнца и земли или луны). Существованіемъ полутѣни объясняется то обстоятельство, что тѣнь предметовъ, освѣщаемыхъ солнцемъ, свѣчею, лампою и т. п., не имѣетъ рѣзкихъ очертаній. Волосъ, тонкая проволока и т. п., выставленные на солнце или освѣщаемые близко стоящею лампой съ широкимъ фитилемъ не даютъ замѣтной тѣни на разстояніи нѣсколькихъ дюймовъ за собою. Въ этихъ случаяхъ полная тѣнь простирается на самое незначительное разстояніе.

Въ случаѣ, напримѣръ, проволоки толщиною въ $\frac{1}{4}$ миллиметра, освѣщенной солнцемъ (угловая величина котораго около полуградуса), точка C экрана отстоящаго на 20 центиметровъ отъ проволоки освѣщается всѣмъ солнцемъ за исключеніемъ узкой полосы mn (фиг. 267), ширина которой менѣе $\frac{1}{7}$ доли діаметра солнца, такъ что разница освѣщенія этой точки отъ какой-либо сосѣдней точки не замѣтна для глаза.



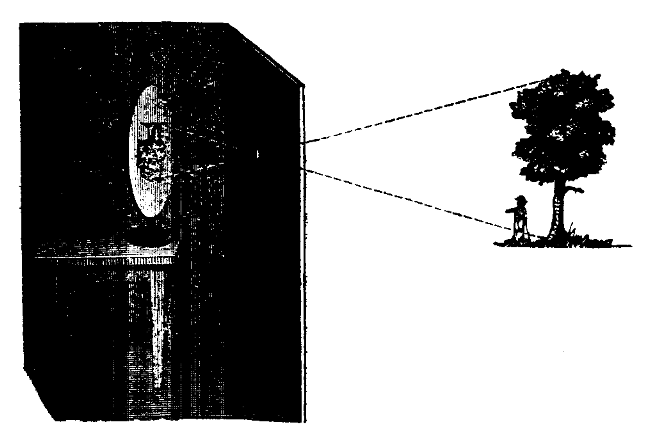
Фиг. 266.

Геометрическаго начала прямолинейнаго распространенія свѣта достаточно для объясненія явленія тѣни и полутѣни, какъ оно обыкновенно наблюдается. Но изученіе тѣни, бросаемой краемъ непрозрачнаго экрана, узкимъ тѣломъ или узкою щелью, когда освѣщающій предметъ можно разсматри-

Фиг. 267.

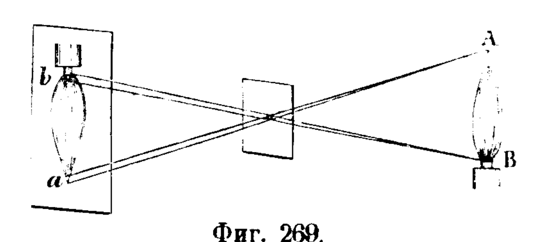
вать какъ *одну свѣтящуюся точку* (или линію) доказываетъ что это геометрическое представленіе не есть точное выраженіе физическаго явленія. Въ строгомъ смыслѣ, препятствіе (фиг. 267) на пути лучей идущихъ изъ свѣтящейся точки S, не ограничиваетъ ея дѣйствія геометрическимъ предѣломъ A: свѣтъ проникаетъ отчасти внутрь геометрической тѣни, а въ освѣщенномъ мѣстѣ даетъ темныя и свѣтлыя полоски. Тѣнь волоса, освѣщеннаго лучами выходящими изъ одной точки, является въ видѣ ряда свѣтлыхъ коймъ, далеко выступающихъ за предѣлы геометрической тѣни и т. д. Это явленіе называется *диффракціей* свѣта.

§ 221. Образованіе изображеній въ темной комнатѣ чрезъ отверстіе въ ставнѣ. Еще неаполитанскій ученый конца XVI вѣка, Баптистъ Порта (въ сочиненіи *Magia naturalis*, 1560 г.), обратилъ вниманіе ученыхъ на это явленіе. „Закроемъ, говоритъ онъ, всѣ окна комнаты и озаботимся чтобы не было отдушинъ и не проникъ какъ-либо сторонній свѣтъ который разрушилъ бы явленіе... Но одно мѣсто, въ пядень шириною и длиною, прорѣжемъ въ ставнѣ, наложимъ на него и закрѣпимъ тонкую свинцовую или мѣдную доску, въ срединѣ которой сдѣлаемъ круглое отверстіе въ ширину малаго пальца. Расположимъ такъ чтобы противъ отверстія была бѣлая стѣна или бумажный экранъ, или



Фиг. 268.

бѣлое полотно. Тогда (фиг. 268) внѣшніе предметы освѣщенные солнцемъ и мимоходящіе люди представятся тамъ какъ антиподы (верхъ ногами) и что находится направо изобразится налѣво. И чѣмъ дальше изображеніе отъ отверстія, тѣмъ оно представится больше". Подобное явленіе можно произвести въ простѣйшей формѣ, если въ темной комнатѣ предъ свѣчкой поставить непрозрачное препятствіе съ маленькою дырочкой и принять изображеніе на экранъ (фиг. 269). Явленіе объясняется прямолинейнымъ распространеніемъ свѣта. Лучи отъ верхней точки A свѣчи проникаютъ тонкимъ пучкомъ прямолинейно чрезъ отверстіе и даютъ на экранѣ вверху маленькое пятно той формы какъ отверстіе. Лучи отъ точки B даютъ пучокъ Bb рисующій пятно внизу экрана. Подобнымъ образомъ и каждая другая точка свѣчи даетъ свой пучокъ и свое пятно на экранѣ. Совокупность этихъ пятенъ образуетъ подобіе предмета съ *неясными* очертаніями, такъ какъ каждой свѣтящейся *точкѣ* на экранѣ соотвѣтствуетъ цѣлое *пятно*. Такъ какъ пучки эти пересѣкаются въ отверстіи, то лучи отъ верхней части предмета падаютъ на нижнюю часть экрана, отъ нижней на верхнюю, справа налѣво: и потому изображеніе получается обратное.



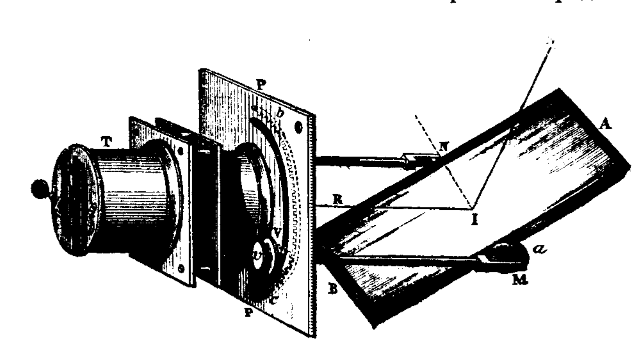
Фиг. 269.

Когда не знали употребленія зрительныхъ трубъ, то наблюдали солнечныя затменія, пропуская лучи чрезъ малое отвер-

стіе въ ставнѣ и принимая изображеніе солнца на прилично поставленномъ экранѣ.

Тѣнь бросаемая деревомъ покрытымъ листьями представляется усѣянною круглыми пятнышками: это суть изображенія солнца, образованныя малыми отверстіями или промежутками разнообразной формы, какіе листья оставляютъ между собою. Во время затмѣнія, когда луна загораживаетъ часть солнца, пятна эти имѣютъ серпообразный видъ. Если, растопыривъ немного пальцы одной руки, наложить на нихъ перпендикулярно пальцы другой, такъ чтобъ образовался родъ рѣшетки съ четвероугольными отверстіями, и бросить ихъ тѣнь отъ солнца, то увидимъ что каждое четвероугольное отверстіе дастъ круглую тѣнь—изображеніе солнца. Но если принять тѣнь близко отъ рукъ, то пятна будутъ четвероугольныя какъ самые промежутки. Вообще, сдѣлавъ въ картонѣ нѣсколько отверстій разной величины и формы и бросая на разныхъ разстояніяхъ тѣнь отъ солнца, лампы, свѣчи и т. п., получаемъ рядъ явленій объясняющихся прямолинейнымъ распространеніемъ свѣта.

§ 222. Употребленіе темной комнаты и метода проложеній для изученія оптическихъ явленій. Пучокъ лучей, входящихъ чрезъ малое отверстіе въ темную комнату, самъ по себѣ *невидимъ*, но встрѣчая экранъ, онъ освѣщаетъ его, образуя свѣтлое пятно разсѣвающее лучи во всѣ стороны и представляю-



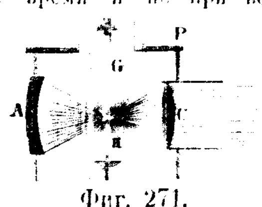
Фиг. 270.

щее неясное изображеніе свѣтящагося предмета отъ котораго вышли лучи, напримѣръ солнца, если въ комнату пропущены солнечные лучи. Если желаемъ чтобъ очертанія изображенія были рѣзки, то должны прибѣгнуть къ оптическимъ пріемамъ, о которыхъ будемъ говорить ниже. Въ дѣйствительности впрочемъ, путь луча можно замѣтить на всемъ протяже-

ніи отъ отверстія до экрана вслѣдствіе освѣщенія мелкихъ пылинокъ всегда въ большомъ количествѣ носящихся въ воздухѣ и разсѣвающихъ свѣтъ. Разсѣяніе солнечныхъ лучей частицами атмосферы облекающей землю (отчасти частицами самого воздуха, а главное частицами постороннихъ тѣлъ въ крайне раздробленномъ состояніи присутствующихъ въ воздухѣ) есть причина освѣщающаго дѣйствія небеснаго свода, который иначе представился бы темнымъ. Пучокъ солнечныхъ лучей впущенный чрезъ отверстіе имѣетъ наклонное направленіе. Чтобы дать ему болѣе удобное для опытовъ, горизонтальное, направленіе, солнечные лучи пропускаютъ въ комнату не прямо, а отразивъ предварительно отъ зеркала (фиг. 270), выставленнаго снаружи ставня и которое можно поворачивать по мѣрѣ передвиженія солнца по небесному своду.

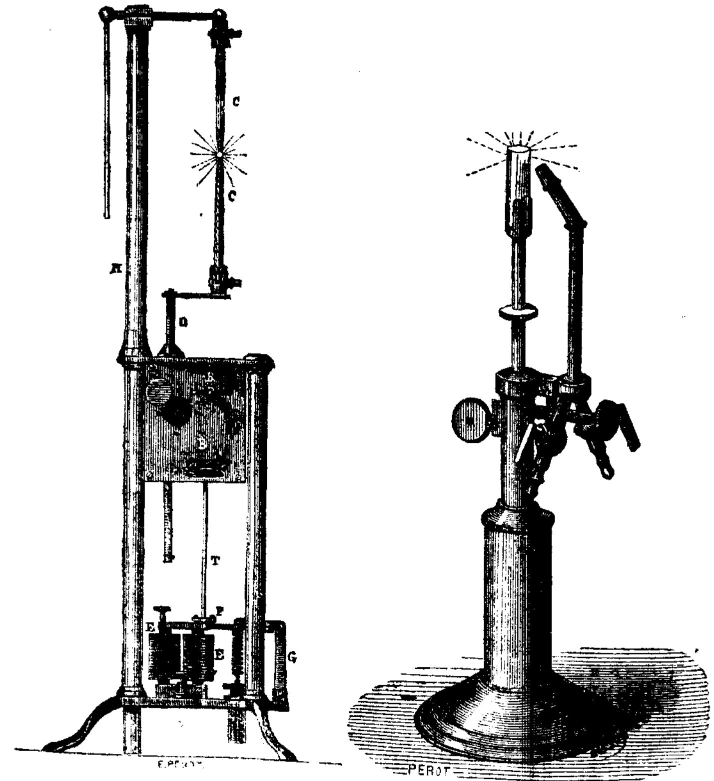
Помѣщая на пути лучей отражающія поверхности или прозрачныя тѣла различнаго вида и качества, и наблюдая перемѣщенія и измѣненія изображенія, пролагающагося на экранѣ а также видимый слѣдъ лучей, можно обнаружить, въ рѣзко наглядной формѣ, всѣ главныя оптическія явленія. Такой способъ наблюденія и показанія оптическихъ явленій называется методою *оптическихъ проложеній*. Другой способъ изучать оптическія явленія, болѣе деликатный и точный чѣмъ первый и не требующій чтобы источникъ свѣта былъ яркій, называется *субъективнымъ* и состоитъ въ томъ что наблюдатель прямо принимаетъ лучи въ свой глазъ и изучаетъ то что представляется ему въ полѣ зрѣнія. Глазъ служитъ орудіемъ наблюденія и въ первой методѣ, но тамъ онъ есть лишь средство замѣтить со стороны путь лучей въ пространствѣ, тогда какъ въ субъективной методѣ глазъ составляетъ часть оптическаго аппарата, съ которымъ производится опытъ, и для уясненія явленія мы должны прослѣдить пучекъ лучей не только внѣ, но и внутри наблюдающаго глаза до нервной оболочки на которую онъ дѣйствуетъ.

Говоря о методѣ проложеній мы предполагали что свѣтящееся тѣло есть солнце. Но такъ какъ солнечными лучами можно пользоваться не во всякое время и не при всякомъ расположеніи комнаты, то для производства и особенно для показанія оптическихъ опытовъ на лекціяхъ, прибѣгаютъ къ другимъ яркимъ источникамъ свѣта; и во-первыхъ къ *электрическому свѣту*. Внутри фонаря часть котораго изображена на фиг. 271, помѣщаютъ снарядъ именуемый *регуляторомъ* электрическаго свѣта (фиг. 272). Свѣтъ образуется между углями, концы которыхъ раскаляются гальваническимъ



Фиг. 271.

токомъ и удерживаются на опредѣленномъ разстояніи между собою помощію особаго механизма, дѣйствующаго тѣмъ же токомъ. Стекло C въ передней части фонаря (фиг. 271) соединяетъ расходящіеся отъ углей лучи въ широкій пучекъ лучей приблизительно параллельныхъ. Еслибы мы приняли этотъ пучекъ на экранъ, то получили бы широкое пятно неравномѣрно освѣщенное и безъ рѣзкаго очертанія. Чтобы дать изображенію на экранѣ отчетливое и правильное очертаніе, предъ стекломъ C помѣщаютъ діафрагму съ круглымъ или узкимъ прямоугольнымъ прорѣзомъ; впереди діафрагмы ставятъ еще стекло, которое будучи поставлено на надлежащемъ разстояніи даетъ на экранѣ отчетливое изображеніе прорѣза. Сведенные стекломъ приблизительно въ одну точку, лучи отъ этой точки до экрана идутъ, образуя слабо расходящійся ко-



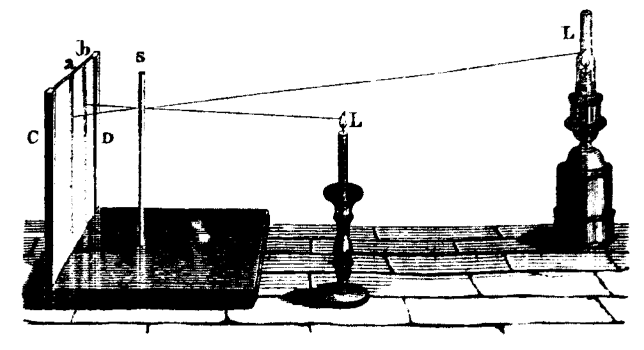
Фиг. 272. Фиг. 273.

ническій пучекъ. Рефлекторъ A служитъ къ тому чтобы не терялись лучи, идущіе къ задней части фонаря. Онъ возвращаетъ ихъ къ источнику.

Электрическій свѣтъ можно замѣнить *Друммондовымъ* (по имени англійскаго ученаго Друммонда, въ двадцатыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія), то-есть свѣтомъ раскаленнаго куска мѣла или извести нагрѣваемаго воспламененною струей водорода смѣшаннаго съ кислородомъ. Фиг. 273 даетъ понятіе о снарядѣ употребляемомъ для этой цѣли.

§ 223. Сравненіе силы свѣта двухъ источниковъ; метода Румфорда. Кромѣ *направленія* дѣйствія свѣтящагося тѣла мы различаемъ оптическую *силу* этого дѣйствія, о которой судимъ по степени *освѣщенія* имъ производимаго. При этомъ, дабы обозначить что дѣйствіе свѣтящагося тѣла въ одномъ случаѣ сильнѣе чѣмъ въ другомъ, говоримъ что *количество свѣта* или *число лучей* доставляемыхъ стекломъ на единицу сферической поверхности опредѣленнаго радіуса, въ центрѣ которой воображаемъ тѣло, въ одномъ случаѣ болѣе чѣмъ въ другомъ.

Для сравненія на опытѣ силы освѣщенія двухъ источниковъ одинъ изъ главныхъ способовъ есть способъ сравненія тѣней, введенный Румфордомъ. Фиг. 274 даетъ понятіе объ этомъ способѣ. „Имѣемъ,



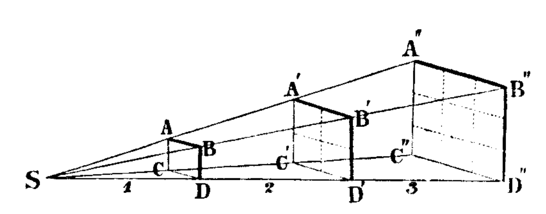
Фиг. 274.

говоритъ Румфордъ, двѣ горящія свѣчи, лампы или

два другіе какіе-либо источника свѣта и желаемъ сравнить ихъ между собою. Помѣстимъ ихъ въ темной комнатѣ на равной высотѣ, на двухъ подвижныхъ подставкахъ и натянемъ на стѣнѣ, на той же высотѣ, бѣлую бумагу. Помѣстимъ источники футахъ въ 6 или 8 отъ такого экрана, на разстояніи одинъ отъ другаго тоже въ 6 или 8 футахъ, такъ чтобы линія, проведенная отъ центра бумаги перпендикулярно къ ея поверхности, раздѣляла пополамъ уголъ образуемый линіями, проведенными отъ источниковъ къ этому центру... Затѣмъ поставимъ предъ центромъ бумаги, въ разстояніи двухъ или трехъ дюймовъ, небольшой вертикальный деревянный цилиндръ около $^1/_4$ дюйма въ діаметрѣ и 6 дюймовъ длиною, такъ чтобъ обѣ тѣни, бросаемыя источниками, были явственно видны. Если онѣ не равной густоты, что почти всегда и бываетъ, то источникъ соотвѣтствующій болѣе густой тѣни надо отодвинуть, или другой приблизить до тѣхъ поръ пока густота тѣней будетъ одинакова, и слѣдовательно количество лучей попадающихъ отъ того и другаго источника на бумагу одинаково. Измѣримъ разстоянія источниковъ отъ центра бумаги (собственно отъ соотвѣтствующихъ тѣней, но такъ какъ тѣни находятся почти въ центрѣ, то это приводилось къ тому же). Отношеніе квадратовъ этихъ разстояній выразитъ отношеніе силы освѣщенія изслѣдуемыхъ источниковъ. Такъ если, напримѣръ, болѣе слабый свѣтъ на разстояніи 4 футовъ отъ центра бумаги даетъ тѣнь одинаковой силы какъ тѣнь болѣе сильнаго источника, отодвинутаго на 8 футовъ отъ центра, то отношеніе силы ихъ свѣта будетъ 8^2 къ 4^2 или 64 къ 16, или 4 къ 1. Такъ и для другихъ разстояній“.

Такой способъ сравненія основывается на томъ началѣ, что освѣщающее дѣйствіе, какъ и всякое иное распространяющееся одинаково во всѣ стороны отъ центра, уменьшается пропорціонально квадрату разстоянія. Очевидно, что то количество

свѣта, которое падаетъ (фиг. 275) на площадь $ABCD$, разстилается, при удаленіи освѣщаемой плоскости,—вслѣдствіе прямолинейности распространенія,—на большей площади $A'B'C'D'$, $A''B''C''D''$ и т. д. А такъ какъ площади эти относятся между собою какъ квадраты соотвѣтствующихъ разстояній: площадь $A'B'C'D'$, находящаяся на двойномъ разстояніи, вчетверо, $A''B''C''D''$, находящаяся на тройномъ разстояніи, вдевятеро болѣе площади $ABCD$ и т. д.,—то на равныя части попадаетъ лучей на экранѣ $A'B'C'D'$ вчетверо, на $A''B''C''D''$ вдевятеро менѣе чѣмъ на экранѣ $ABCD$: освѣщеніе слѣдовательно должно уменьшаться пропорціонально квадрату разстоянія. Предыдущее разсужденіе относится къ случаю свѣтящейся точки, но опытъ показываетъ что законъ квадратовъ разстояній съ достаточною точностію прилагается и къ случаю свѣтящихся тѣлъ небольшихъ размѣровъ. Румфордъ помѣщалъ съ одной стороны двѣ восковыя свѣчи, по предварительномъ испытаніи оказавшіяся горящими съ одинаковою яркостію; съ другой Аргантову лампу. Оказалось, что лампу надлежало поставить на 100 дюймовъ отъ центра бумаги, а двѣ свѣчи на 60,8 дюйма, чтобы бросаемыя тѣни были одинаковы. Затѣмъ одна изъ свѣчъ была удалена, оставшуюся надлежало приблизить на разстояніе 43,4 дюйма, чтобы вновь уравновѣсить освѣщеніе лампы. Такъ какъ сила освѣщенія двухъ одинаковыхъ свѣчъ вдвое болѣе одной, то, если законъ оправдывается, квадраты разстояній,—изъ которыхъ одно 60,8 дюймовъ, другое 43,4.—должны относиться между собою какъ 2 къ 1. Дѣйствительно, $60{,}8^2 = 3696{,}64$; $43{,}4^2 = 1883{,}56$ приблизительно относится какъ 2 къ 1.



Фиг. 275.

Главное затрудненіе при сравненіи силы освѣщенія по методѣ тѣней, какъ и вообще при фотометрическихъ измѣреніяхъ, происходитъ отъ того что глазъ можетъ сравнивать только лучи одинаковаго цвѣта, и если источники даютъ лучи разнаго цвѣтнаго оттѣнка, что весьма часто встрѣчается (свѣтъ свѣчи имѣетъ, напримѣръ, болѣе оранжевый оттѣнокъ чѣмъ свѣтъ фотогеновой лампы), то точное сравненіе перестаетъ быть возможнымъ. Мы можемъ имѣть только самое грубое сужденіе о сравнительной яркости лучей разнаго цвѣта.

§ 224. Видимая яркость свѣтящагося тѣла. *Силу освѣщенія* источника не должно смѣшивать съ его *яркостію.* Источникъ имѣющій бо́льшую поверхность можетъ освѣщать съ такою же силою какъ другой болѣе яркій, но меньшихъ размѣровъ. Чтобы сравнивать ихъ яркости мы должны ихъ привести мысленно къ одинаковой поверхности. Такъ если сила свѣта перваго источника есть A, втораго, помѣщеннаго въ тѣхъ же условіяхъ,—B; поверхность же перваго S, втораго S'; то раздѣливъ A на S и B на S', получимъ количества свѣта доставляемыя единицею поверхности въ томъ и другомъ случаѣ и отношеніе $\frac{A}{S} : \frac{B}{S'}$ будетъ отношеніе яркостей.

Когда мы прямо принимаемъ лучи въ глазъ, то выводимъ заключеніе не о силѣ освѣщенія, а о *видимой яркости* сравниваемыхъ источниковъ. Какъ тотъ, такъ и другой въ маломъ видѣ изображаются на внутренней поверхности глаза, чувствительной для свѣта. Если эти изображенія, хотя и разной величины, одинаково ярки, то-есть если на равныя части глазной поверхности отъ того и другаго источника падаетъ по равному количеству свѣта, то заключаемъ что источники равной яркости. Наоборотъ, источникъ большихъ размѣровъ, по силѣ освѣщенія превосходящій другой меньшихъ размѣровъ, можетъ имѣть меньшую видимую яркость, о чемъ заключимъ чрезъ сравненіе *равныхъ частей* ихъ изображеній. При сравненіи *силы освѣщенія* лучи, какъ мы видѣли, не поступаютъ прямо въ глазъ, а освѣщаютъ матовую поверхность, и глазъ принимаетъ ихъ разсѣянную часть, при чемъ опытъ располагается такъ, чтобы часть эта составляла для того и другаго источника одинакую долю полнаго количества падающихъ лучей и слѣдовательно сравненіе разсѣянныхъ лучей было бы равносильно съ сравненіемъ всего количества лучей падающихъ на освѣщаемую поверхность.

Видимая яркость источника не измѣняется, стоитъ ли онъ близко отъ глаза или находится далеко. Двѣ свѣчи, одна на разстояніи сажени, другая въ десяти саженяхъ представляются одинаково яркими (воздухъ предполагаемъ вполнѣ прозрачнымъ), ибо хотя количество свѣта доставляемое первою въ 100 (десять въ квадратѣ, согласно закону уменьшенія силы освѣщенія пропорціонально квадрату разстоянія) менѣе чѣмъ второй, но за то площадь изображенія рисующагося внутри глаза въ первомъ случаѣ въ 100 разъ менѣе, слѣдовательно на равныя поверхности попадаетъ одинакое количество свѣта. Еслибы солнце удалилось вдвое дальше, то казалось бы вдвое меньше, но той же яркости.

§ 225. Фотометрическая метода Бунзена. Кромѣ методы тѣней, для сравненія силы свѣта разныхъ источниковъ весьма употребительна другая метода, указанная профессоромъ химіи въ Гейдельбергѣ Бунзеномъ. Если, сдѣлавъ на бумагѣ пятно масляное или стеариновое, держать ее предъ свѣчей, то мѣсто

пропитанное жирнымъ веществомъ какъ болѣе прозрачное, пропуститъ болѣе лучей и будетъ казаться свѣтлѣе остальной бумаги. Напротивъ, если помѣстить глазъ на той же сторонѣ гдѣ свѣча, то пятно покажется темнѣе, ибо бѣлая бумага отражаетъ болѣе лучей чѣмъ покрытая масломъ. Помѣстимъ такую бумагу на неизмѣнномъ разстояніи предъ источникомъ свѣта по возможности постояннымъ и станемъ подносить къ ней первый изъ двухъ источниковъ которые хотимъ сравнить. Не трудно поставить этотъ источникъ на такомъ разстояніи что глазъ не будетъ отличать пятна отъ остальной бумаги (это будетъ когда избытокъ пропускаемыхъ пятномъ лучей уравновѣсится избыткомъ отражаемыхъ отъ непокрытой части). Пусть источникъ находится въ такомъ случаѣ на разстояніи a отъ бумаги. Если замѣнивъ первый источникъ вторымъ, найдемъ что второй надо поставить на разстояніи b чтобы пятно исчезло, то очевидно $a^2 : b^2$ будетъ отношеніе силы свѣта двухъ источниковъ. Вмѣсто того чтобы дѣлать жирное пятно, можно просто сдѣлать вырѣзку въ бумагѣ и помѣстить эту бумагу между двумя другими. Мѣсто гдѣ находится вырѣзка будетъ просвѣчивать сильнѣе чѣмъ остальныя части, гдѣ тройной слой бумаги.

Отраженіе лучей.

§ 226. Поверхности правильно отражающія или зеркальныя. Полированная поверхность твердаго тѣла, поверхность ртути или иной жидкости суть примѣры поверхностей правильно отражающихъ лучи или *зеркальныхъ.* Полированная поверхность, по самому происхожденію своему (полируютъ тѣла, натирая ихъ тончайшими порошками веществъ способныхъ ихъ чертить) есть поверхность *исчерченая*, по которой борозд-ки и вообще неровности имѣютъ очень малую величину. Если неровности эти еще не довольно малы, то поверхность разсѣваетъ свѣтъ безъ правильнаго отраженія, которое наступаетъ лишь когда неровности не превышаютъ извѣстнаго предѣла. При этомъ чѣмъ слабѣе разсѣяніе и сильнѣе правильное отраженіе тѣмъ зеркало совершеннѣе. Еслибы весь отбрасываемый свѣтъ состоялъ изъ правильно отраженнаго, то сама зеркальная поверхность вовсе не была бы замѣтна и намъ казалось бы что смотримъ чрезъ отверстіе за которымъ стоятъ предметы.

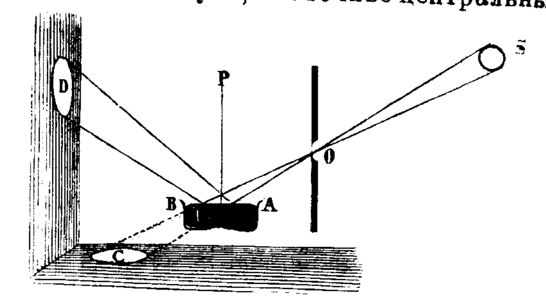
Прибавимъ что и *матовыя* поверхности, какъ напримѣръ листъ бумаги, вообще разсѣвающія свѣтъ во всѣ стороны, становятся правильно отражающими, если помѣстить глазъ при самой поверхности, такъ чтобы получать свѣтъ въ весьма косвенномъ направленіи. Тогда глубины мелкихъ бороздокъ не видны для глаза, и свѣтъ достигаетъ его лишь отъ точекъ, лежащихъ приблизительно въ одной плоскости.

Зеркала, по формѣ поверхности, бываютъ *плоскія, вогнутыя и выпуклыя.* По матеріалу они бываютъ: металлическія, напримѣръ, изъ сплава мѣди и олова; обыкновенныя стеклянныя у которыхъ на заднюю поверхность наведена ртутная амальгама или, какъ нынѣ нерѣдко дѣлается, наложенъ тонкій слой серебра осажденнаго химическимъ путемъ. Такія зеркала представляютъ двѣ отражающія поверхности— стеклянную и металлическую; но отраженіе отъ первой мало замѣтно, такъ какъ сила отраженія металлической поверхности гораздо значительнѣе силы отраженія стекла.

Чтобъ имѣть зеркало съ одною стеклянною поверхностію, заднюю поверхность стеклянной доски зачерняютъ и чрезъ то лишаютъ отражающей способности. Наконецъ, бываютъ зеркала съ металлическою поверхностію, но сдѣланныя изъ стекла, покрытаго *съ наружной* стороны тонкимъ слоемъ серебра, осажденнаго химическимъ путемъ и отполированнаго легкимъ натираніемъ. Такъ какъ стекло есть матеріалъ, сравнительно съ металлами, легко обрабатываемый, то этимъ способомъ можно получить весьма совершенныя въ оптическомъ отношеніи металлическія зеркала (зеркала французскаго ученаго Фуко) значительно легче чѣмъ еслибы приготовлять все зеркало изъ металла.

§ 227. Законы правильнаго отраженія свѣта. Если пропустить въ темную комнату черезъ малое отверстіе въ ставнѣ (фиг. 276) пучекъ солнечныхъ лучей, то получимъ на полу или вообще на принимающей лучи поверхности округлое изображеніе C солнца. Но если гдѣ-нибудь пересѣчемъ пучекъ зеркаломъ,— поставимъ напримѣръ въ AB сосудъ со ртутью, то пучекъ отклонится и изображеніе перемѣстится въ D.

Проведемъ перпендикуляръ къ зеркалу въ томъ мѣстѣ гдѣ падаетъ на него пучекъ (практически, въ случаѣ сосуда со ртутью такимъ перпендикуляромъ можетъ служить нить съ грузомъ) и назовемъ уголъ, который падающій лучъ, или точнѣе центральный лучъ



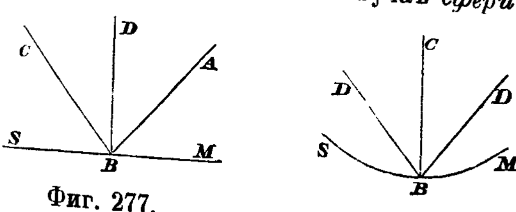
Фиг. 276.

падающаго пучка дѣлаетъ съ перпендикуляромъ—*угломъ паденія*; уголъ отраженнаго луча съ перпендикуляромъ—*угломъ отраженія*; плоскость проходящую чрезъ падающій лучъ и перпендикуляръ паденія—*плоскостію паденія*. Можно убѣдиться: 1) что *уголъ паденія* и *уголъ отраженія находятся въ одной плоскости* (другими словами: *отраженный лучъ остается въ плоскости паденія*); 2) что: *уголъ паденія равенъ углу отраженія*. Если уголъ паденія равенъ 0, то-есть лучъ падаетъ перпендикулярно на зеркало, то и уголъ отраженія = 0: лучъ возвращается назадъ по тому же пути какъ пришелъ.

Вмѣсто солнечнаго свѣта для нагляднаго оправданія законовъ отраженія можно воспользоваться электрическимъ свѣтомъ, поставивъ зеркало за стекломъ пролагающимъ на экранъ изображеніе небольшаго круглаго отверстія въ діафрагмѣ фонаря. Вслѣдствіе отраженія лучей отъ зеркала изображеніе перемѣстится.

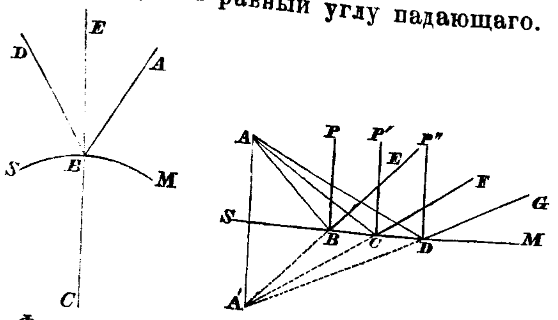
§ 228. Геометрическое построеніе отраженнаго луча по данному падающему. На основаніи законовъ отраженія не трудно, зная направленіе падающаго луча, графически изобразить направленіе отраженнаго. Такъ,

въ случаѣ плоскаго зеркала (фиг. 277), достаточно возставить перпендикуляръ въ точкѣ паденія и построить уголъ $ABD = CBD$. Въ случаѣ *сферическаго*,



Фиг. 277. Фиг. 278.

вогнутаго (фиг. 278) или выпуклаго (фиг. 279), перпендикуляромъ паденія служитъ радіусъ, проведенный чрезъ точку паденія: отраженный лучъ долженъ дѣлать съ нимъ уголъ равный углу падающаго.

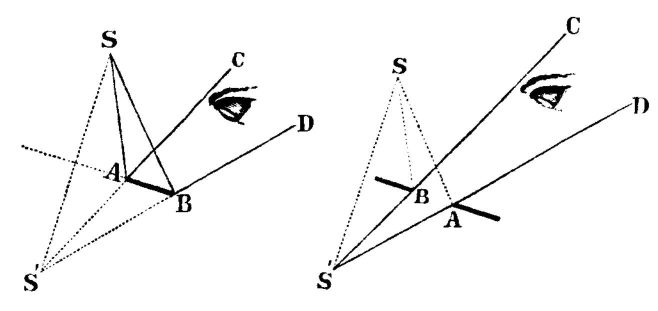


Фиг. 279. Фиг. 280.

§ 229. **Отраженіе отъ плоскаго зеркала пучка лучей, выходящаго изъ одной точки.** Если на плоское зеркало падаетъ (фиг. 280) цѣлый пучекъ лучей, выходящихъ изъ одной точки A, то построивъ нѣсколько отраженныхъ лучей, не трудно убѣдиться что всѣ они имѣютъ общую точку пересѣченія A', лежащую на перпендикулярѣ, опущенномъ изъ точки A на зеркало и продолженномъ за зеркаломъ на такое разстояніе, на какомъ точка A находится предъ зеркаломъ; другими словами: $AS = SA'$.

Это свойство чертежа есть прямое слѣдствіе законовъ отраженія, какъ легко доказать помощію простыхъ геометрическихъ соображеній. Возьмемъ какой-нибудь одинъ изъ отраженныхъ лучей, напримѣръ CF и найдемъ точку A' гдѣ его продолженіе за зеркаломъ, намѣченное пунктиромъ, пересѣкаетъ перпендикуляръ AS. Изъ равенства треугольниковъ ACS и SCA' (у которыхъ сторона SC общая, при S углы прямые и уголъ $ACS=SCA'$, ибо $ACS=FCM$ по закону отраженія, а $FCM=SCA'$ какъ вертикальные) слѣдуетъ что $AS=SA'$. То же докажемъ для всякаго другаго луча. Слѣдовательно A' есть *общая* точка пересѣченія отраженныхъ лучей съ перпендикуляромъ опущеннымъ изъ свѣтящейся точки на зеркало.

Точка A' называется изображеніемъ точки A, и можно сказать что лучи, выходящіе изъ одной точки, по отраженіи отъ плоскаго зеркала, образуютъ расходящійся пучекъ точно такой, какой образовали бы еслибы зеркала не было, а они выходили изъ точки A', находимой упомянутымъ построеніемъ. Для глаза зрѣлище таково какъ еслибы вмѣсто зерка-

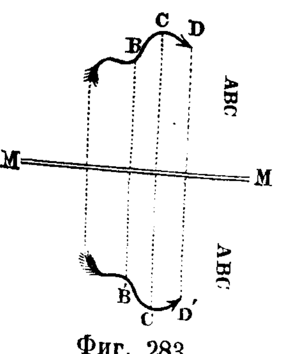


Фиг. 281. Фиг. 282.

ла AB (фиг. 281) было отверстіе BA (фиг. 282) за которымъ была бы свѣтящаяся точка S'.

§ 230. **Отраженіе отъ плоскаго зеркала лучей, выходящихъ изъ цѣлаго свѣтящагося тѣла.** Если вмѣсто одной точки испускающей лучи свѣта, имѣемъ цѣлое тѣло, то каждая точка его доставляетъ свой пучекъ, по отраженіи направляющійся такъ, какъ еслибъ онъ выходилъ изъ нѣкоторой точки находящейся за зер-

каломъ. Совокупность такихъ точекъ составляетъ *изображеніе* тѣла. Мы найдемъ его если изъ всѣхъ доставляющихъ лучи точекъ тѣла опустимъ (фиг. 283) перпендикуляры на плоскость зеркала (представляя ее неопредѣленно простирающеюся) и продолжимъ ихъ за зеркаломъ на равныя разстоянія. Построенное такимъ образомъ изображеніе тѣла есть по отношенію къ нему то что́ въ геометріи именуется *симметричною* фигурою. Двѣ такія фигуры равновелики, но при наложеніи не совмѣщаются, и правая сторона одной соотвѣтствуетъ лѣвой другой и наоборотъ. Такимъ образомъ явленіе происходитъ такъ какъ еслибы вмѣсто зеркала было отверстіе, за которымъ стояло бы тѣло симметричное съ отражаемымъ, помѣщенное на такомъ разстояніи, на какомъ тѣло находится предъ зеркаломъ. Если, напримѣръ, отражаемый предметъ есть солнце, то явленіе представится такъ какъ еслибы зеркало было отверстіемъ, чрезъ которое свѣтило бы тѣло подобное солнцу. Явленіе приводится къ случаю отверстія пропускающаго лучи отъ свѣтящагося тѣла. Если зеркало небольшое, то оно соотвѣтствуетъ случаю малаго отверстія и бросаетъ *круглое* изображеніе солнца.



Фиг. 283.

Знаменитый французскій естествоиспытатель прошлаго вѣка, Бюффонъ (въ 1747 г.), помѣстивъ на доскѣ рядъ небольшихъ зеркалъ, устроилъ сложное зеркало съ цѣлью направить солнечные лучи въ большомъ количествѣ въ одно мѣсто и произвести значительное возвышеніе температуры на большомъ разстояніи отъ снаряда. Снарядъ „состоялъ изъ 168 небольшихъ стеклянныхъ зеркалъ (6 дюймовъ длиною на 8 ширины), расположенныхъ такъ что между краями оставались промежутки линіи въ 4. Зеркала держались общею оправою, которая могла двигаться во всѣ стороны. Каждое зеркало кромѣ того имѣло свою оправу, такъ что могло отдѣльно обращаться

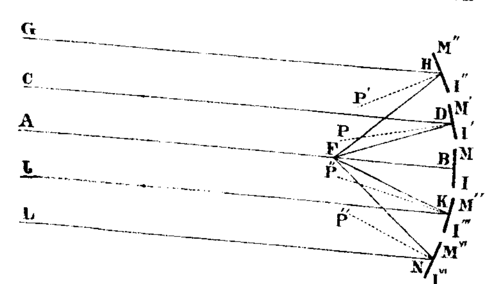
во всѣ стороны. Помощію этого движенія можно было заставить упасть всѣ 168 изображеній (солнца) въ одно мѣсто и зажигать на значительномъ разстояніи.“ Надо было около получаса чтобы привести отраженныя изображенія къ совпаденію. На разстояніи 150 футовъ можно было зажечь сосновую смоленую доску. Изображеніе при этомъ разстояніи имѣло 16 дюймовъ въ діаметрѣ.

§ 231. Количество отраженнаго свѣта сравнительно съ количествомъ падающаго. Изъ общаго количества лучей, падающихъ на зеркальную поверхность, только часть отражается; другая входитъ въ тѣло, и если оно не прозрачно, имъ поглощается; наконецъ часть разсѣвается. Чтобъ опредѣлить количество правильно отраженнаго свѣта сравнительно съ количествомъ падающаго. Бугеръ *) ставилъ въ случаѣ металлическихъ и вообще твердыхъ зеркалъ, одинъ противъ другаго два небольшіе бумажные экрана и между ними свѣчу; нѣсколько съ боку помѣщалось изслѣдуемое зеркало, и наблюдатель видѣлъ въ немъ отраженіе одного изъ экрановъ почти рядомъ съ другимъ, дѣйствительнымъ экраномъ, видимымъ прямо глазу. Когда свѣча была на равномъ разстояніи отъ экрановъ, то отраженный казался темнѣе дѣйствительнаго и свѣчу надо было поставить дальше отъ этого послѣдняго, чтобъ онъ казался одинаковой яркости съ отражаемымъ. Отношеніе квадратовъ разстояній свѣчи отъ того и другаго экрана даетъ отношеніе количествъ падающаго и отраженнаго свѣта. Въ случаѣ жидкостей, Бугеръ пропускалъ въ темную комнату дневной свѣтъ чрезъ два небольшія отверстія въ ставнѣ. Одно изъ отверстій, помѣщенное нѣсколько выше, прямо освѣщало поставленный на нѣкоторомъ разстояніи экранъ и давало на немъ свѣтлое пятно; свѣтъ отъ другаго отверстія принимался прежде на поверхность изслѣдуемой жидкости и по отраженіи падалъ на экранъ, производя свое пятно. (Явленіе происходило такъ какъ еслибы изображеніе отверстія было дѣйствительнымъ отверстіемъ, находящимся за зеркальною поверхностью и оттуда освѣщающее экранъ). Чтобы оба пятна (которымъ помощію непрозрачнаго картона съ круглыми прорѣзами, приложеннаго къ экрану, можно было дать круглое очертаніе) были одинакой яркости надо было отверстіе дающее прямо падающій свѣтъ сдѣлать меньше доставляющаго свѣтъ отражаемый. Отношеніе величины этихъ отверстій дастъ отношеніе количествъ падающаго и отраженнаго свѣта, если опытъ расположить такъ, что первое отверстіе и изображеніе втораго находятся на равномъ разстояніи отъ экрана.

*) Французскій ученый, родился въ 1698 году. Получивъ извѣстность трудами по механикѣ и астрономіи, былъ въ 1735 г. выбранъ въ члены коммиссіи, отправившейся для измѣренія градуса меридіана въ Перу. Многочисленныя наблюденія изложилъ въ сочиненіи *О фигурѣ земли*. Онъ и германскій ученый Ламбертъ—основатели фотометріи (ученіе о измѣреніи силы свѣта). Умеръ въ 1758 году.

Бугеръ нашелъ что, при перпендикулярномъ паденіи, изъ 1000 падающихъ лучей вода отражаетъ только 18, стекло 25, ртуть 660 лучей (и около того же количества металлическія зеркала). При наклонномъ паденіи, отраженіе значительнѣе; такъ вода изъ 1000 лучей, падающихъ очень косвенно, подъ угломъ, напримѣръ въ $1\frac{1}{2}^{\circ}$ съ ея поверхностію отражаетъ 670 лучей; при углѣ съ поверхностью 20° (когда слѣдовательно уголъ паденія есть 70°) отражаетъ 145 лучей; при 60° уже только 19. Сравнительное отраженіе ртути и воды удобно наблюдать, наливъ въ сосудъ воды поверхъ ртути и сравнивая два отраженныхъ изображенія при разныхъ наклонахъ.

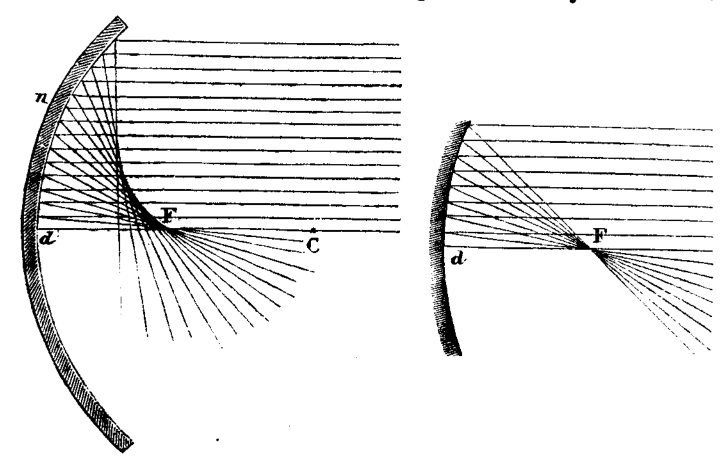
§ 232. **Вогнутое или собирающее лучи зеркало** Представимъ себѣ нѣсколько плоскихъ зеркалъ *IM*, *I'M'*, *I''M''* и т. д. расположенныхъ какъ на фиг. 284.



Фиг. 284.

Пусть на такую систему падаютъ лучи изъ нѣкоторой свѣтящейся точки (на чертежѣ эта точка предполагается очень далеко, такъ что падающіе лучи можно считать параллельными между собою). Зеркала можно размѣстить такъ что всѣ отраженные лучи будутъ собираться въ одно мѣсто, напримѣръ къ точкѣ *F*. Не трудно убѣдиться, что въ этомъ случаѣ вся совокупность зеркалъ составитъ какъ бы одну *вогнутую* поверхность. Заключаемъ, что вообще вогнутая, напримѣръ *сферическая*, поверхность должна собирать лучи. Дѣйствительно, построивъ по правилу § 228 для каждаго падающаго луча соотвѣтствующій отраженный, убѣдимся, что лучи, отраженные

отъ дуги изображающей на фиг. 285 части вогнутой *сферической* поверхности *приблизительно* сойдутся въ одной точкѣ, говоримъ приблизительно, ибо, какъ видно на фигурѣ, чѣмъ ближе падающій лучъ къ краю зеркала тѣмъ ближе къ зеркалу точка гдѣ онъ пересѣкаетъ ось. Разстояніе точки пересѣченія луча съ осью

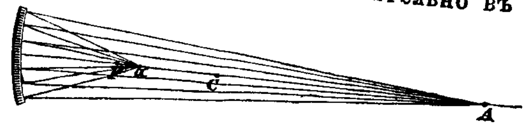


Фиф. 285. Фиг. 286.

отъ точки *F*, гдѣ пересѣкаются съ осью лучи падающіе на центральную часть зеркала, называется *аберраціею* луча. Точка *F* есть предѣлъ, къ которому приближается пересѣченіе луча съ осью по мѣрѣ того какъ лучъ становится ближе и ближе къ идущему по самой оси. Изъ чертежа видимъ что аберрація лучей падающихъ на среднюю часть зеркала имѣетъ весьма малую величину (это яснѣе видно изъ сравненія фиг. 286 представляющей центральную часть фигуры 285 съ этою послѣднею). Потому, если отверстіе зеркала не велико, то зеркало это можно считать свободнымъ отъ *сферической аберраціи* и всѣ отраженные лучи пересѣкающими въ одной точкѣ *F*, которая и называется *фокусомъ* зеркала и именно *главнымъ*, если какъ на

чертежѣ, падающіе лучи параллельны оси. Плоскость проведенная чрезъ точку F перпендикулярно къ оси называется *фокальною плоскостью*. Отраженный пучекъ пересѣкаетъ ее въ одной точкѣ, если, какъ предполагаемъ, зеркало свободно отъ сферической аберраціи. Онъ пересѣкаетъ ее въ цѣломъ пятнѣ въ противномъ случаѣ. Это мѣсто пересѣченія отражающаго пучка фокальною плоскостію именуется *изображеніемъ* той отдаленной точки, откуда падаютъ на зеркало параллельные лучи *).

Не только лучи параллельные, но и вообще лучи вышедшіе изъ какой-нибудь точки A на оси (фиг. 286) по отраженіи собираются приблизительно въ одной



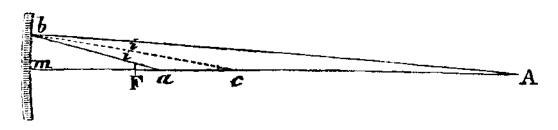
Фиг. 287.

точкѣ a, которая и есть *изображеніе* точки A. Эти точки называются *сопряженными фокусами*. Еслибы свѣтящаяся точка была въ a, то лучи выходящіе изъ нея шли бы, въ обратномъ направленіи, по тому пути, какимъ въ первомъ случаѣ шли отраженные, а прежніе падающіе изобразили бы путь отраженныхъ, которые собрались бы въ A какъ въ фокусѣ.

§ 233. Опредѣленіе разстоянія фокуса отъ зеркала. Не трудно найти разстояніе фокуса отъ средины зеркала. Обратимъ вниманіе на какой нибудь одинъ изъ лучей выходящихъ изъ

*) Чертежъ сдѣланъ въ одной плоскости. Чтобы получить понятіе объ общемъ расположеніи лучей въ пространствѣ, мы должны вообразить что весь чертежъ обратился около линіи проходящей чрезъ центръ и средину зеркала какъ около оси. Цилиндрическій пучекъ падающихъ лучей обращается въ конусообразный отраженный, который былъ бы строго коническимъ, еслибы лучи собирались строго въ одну точку.

точки A, напримѣръ, лучъ Ab (фиг. 288). Пусть Am разстояніе свѣтящейся точки отъ зеркала $= d$; радіусъ зеркала, котораго центръ въ точкѣ c, пусть $= R$; искомую величину am на-



Фиг. 288.

зовемъ буквою f. Изъ тріугольника Aba, въ которомъ уголъ при b, образованный лучами падающимъ и отраженнымъ, раздѣляется радіусомъ cb пополамъ, имѣемъ:

$$Ac : ac = Ab : ab \text{ или } (d - R) : (R - f) = Ab : ab.$$

Чѣмъ менѣе уголъ bAm образуемый падающимъ лучомъ съ осью зеркала, чѣмъ ближе, слѣдовательно, лучъ Ab къ центральному лучу Am, тѣмъ менѣе длина Ab разнится отъ длины Am и длина ab отъ длины am, такъ что *въ предѣлѣ* можно положить $Ab = Am = d$, $ab = am = f$. Слѣдовательно, предыдущая пропорція будетъ:

$$(d - R) : (R - f) = d : f, \text{ откуда } f = \frac{dR}{2d - R}$$

Найденное разстояніе f, опредѣляющее положеніе точки a, относится въ строгости къ лучу идущему безконечно близко отъ центральнаго луча Am, но по предыдущему знаемъ что въ этой точкѣ собираются приблизительно всѣ лучи падающіе изъ A на зеркало съ небольшимъ отверстіемъ, то есть свободное отъ сферической аберраціи, какимъ мы его и предполагаемъ. Выведенную формулу можно представить въ слѣдующемъ видѣ удобно удерживающимся въ памяти

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Если d очень велико, то $\frac{1}{d}$ очень малая величина и при $d = \infty$ (когда лучи падаютъ параллельно оси на зеркало) обращающаяся въ нуль. Назвавъ величину f въ этомъ частномъ случаѣ, или *главное фокусное разстояніе*, буквою F, будемъ имѣть:

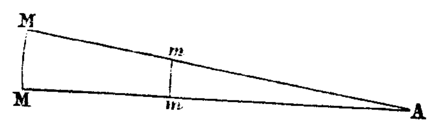
$$\frac{1}{F} = \frac{2}{R} \text{ или } F = \frac{R}{2}$$

Главное фокусное разстоянiе сферическаго зеркала равно, слѣдовательно, *половинѣ радiуса.*

Если замѣнимъ R величиною $2F$, то предыдущая формула приметъ видъ $\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$

Ту же формулу можно вывести другимъ прiемомъ, на который укажемъ такъ какъ будемъ имъ пользоваться въ послѣдствiи.

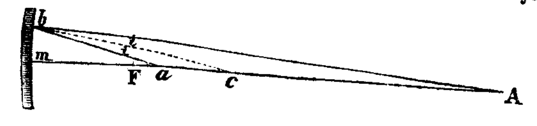
Припомнимъ что углы вообще пропорцiональны дугамъ описаннымъ изъ ихъ вершинъ какъ центровъ произвольными, но равными радiусами, напримѣръ, радiусами равными единицѣ, и



Фиг. 289.

что если извѣстна длина дуги MM (фиг. 289) описанной изъ вершины A радiусомъ $AM=R$, то соотвѣтствующая тому же углу дуга mm описанная радiусомъ $Am=1$ найдется изъ отношенiя $MM : mm = AM : Am = R : 1$, откуда $mm = \frac{MM}{R}$. *)

Возвращаясь къ нашему чертежу (фиг. 290) станемъ называть углы bAm, bcm, bam буквами стоящими при ихъ вершинахъ A, c, a; углы Abc и cba назовемъ i и r. Такъ какъ уголъ па-



Фиг. 290.

денiя и уголъ отраженiя равны между собою, то $i=r$; но $i=c-A$, $r=a-c$; слѣд. $c-A=a-c$ или $A+a=2c$. Дуга bm имѣетъ своимъ радiусомъ R; соотвѣтствующая тому же углу c дуга описанная радiусомъ равнымъ единицѣ будетъ $\frac{bm}{R}$.

*) Соотвѣтствующее этой дугѣ число градусовъ x найдется изъ пропорцiи $x : 360^{\circ} = \frac{MM}{R} : 2\pi$, гдѣ 2π длина цѣлой окружности радiусъ которой единица.

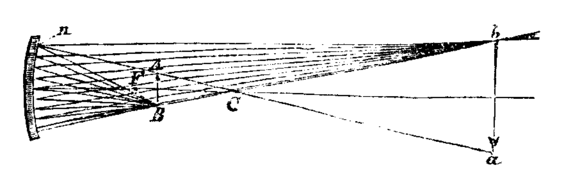
Если уголъ A малъ, то длина дуги mb будетъ очень мало отличаться отъ длины дуги, какая была бы описана изъ A какъ центра радiусомъ $Am=d$, и слѣдовательно за дугу единицы радiуса соотвѣтствующую углу A можно принять $\frac{bm}{d}$. Подобнымъ образомъ, дуга единицы радiуса соотвѣтствующая углу a будетъ $\frac{MM}{d}$. Замѣнивъ въ предыдущемъ уравненiи углы пропорцiональными имъ величинами дугъ, получимъ

$$\frac{bm}{d}+\frac{bm}{f}=\frac{2\,bm}{R} \quad \text{или} \quad \frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{2}{R}$$

что и требовалось вывести.

§ 234. Изображенiе точки лежащей внѣ оси. Изображенiе цѣлаго предмета. Пусть точка изъ которой выходятъ лучи находится внѣ оси, напримѣръ въ b (фиг. 291). Тогда, проведя *побочную ось*, то-есть линiю отъ свѣтящейся точки чрезъ центръ зеркала C, можемъ относительно этой оси разсуждать точно такъ какъ въ предыдущемъ случаѣ разсуждали относительно главной оси, и показать что лучи по отраженiи сойдутся въ одной точкѣ B, лежащей на побочной оси въ разстоянiи отъ зеркала опредѣляемомъ точно также какъ въ случаѣ разобранномъ выше. Точка B есть *изображенiе* точки b.

Наконецъ пусть на нѣкоторомъ разстоянiи отъ зеркала, на главной его оси, находится (фиг. 291) цѣлый предметъ ba, изъ каждой точки котораго выходятъ



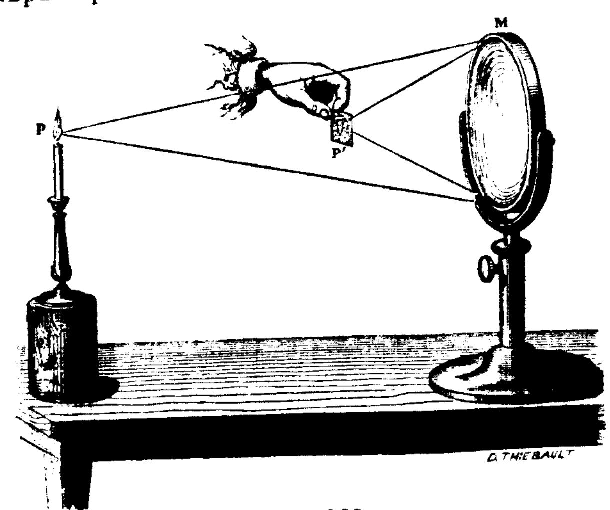
Фиг. 291.

лучи падающiе на зеркало. Тогда для каждой точки предмета найдется свое изображенiе, лежащее на со-

отвѣтствующей этой точкѣ побочной оси: изображеніе точки b въ точкѣ B, точки a въ A и т. д. Такъ какъ побочныя оси пересѣкаются въ центрѣ, то изображенія точекъ лежащихъ выше главной оси будутъ ниже ея и наоборотъ; другими словами изображеніе будетъ *обратное* или *верхъ ногами*. Представимъ себѣ плоскость поставленную перпендикулярно главной оси въ томъ мѣстѣ гдѣ находится изображеніе точки предмета лежащей на главной оси (то-есть при вершинѣ конуса отраженныхъ лучей, образующихъ это изображеніе). Если допустимъ что разстояніе отъ зеркала всѣхъ другихъ точекъ предмета мало разнится отъ разстоянія этой средней точки, то воображаемая нами плоскость пересѣчетъ и всѣ другіе конусы отраженныхъ лучей приблизительно при ихъ вершинахъ A, B и т. д., и слѣдовательно приметъ на себя изображеніе всего предмета ba. Относительно величины этого изображенія, замѣтимъ что уголъ $bCa = BCA$; слѣдовательно изображеніе находится въ углѣ образуемомъ линіями, проведенными отъ вершины и основанія предмета чрезъ центръ зеркала. Другими словами, изъ центра зеркала изображеніе и предметъ представляются подъ одинаковымъ угломъ.

§ 235. Опыты съ проложеніемъ изображеній помощію вогнутаго зеркала. Если вмѣсто воображаемой плоскости въ AB поставимъ дѣйствительный небольшой экранъ (небольшой, чтобы загораживать лишь незначительную часть падающихъ лучей), то конусы отраженныхъ лучей освѣтятъ его каждый въ своей соотвѣтствующей точкѣ. Каждое освѣщенное мѣсто, въ свою очередь, разсѣеваетъ лучи во всѣ стороны, и на экранѣ нарисуется видимое съ боку и насквозь,—если онъ просвѣчиваетъ,—обратное изображеніе предмета, напри-

мѣрѣ, свѣчи, какъ представлено на фиг. 292. По мѣрѣ удаленія свѣчи изображеніе ея становится ближе къ зеркалу и меньше. Если предметъ удаленъ на значительное разстояніе (если, напримѣръ, отражаемъ ландштафтъ или солнце), то изображеніе находится въ главномъ фокусѣ, на половинѣ радіуса зеркала. Если, напротивъ, будемъ приближать свѣчу, то экранъ надо удалить отъ зеркала чтобы принять отчетливое изображеніе, увеличивающееся по мѣрѣ приближенія предмета. Если свѣча будетъ



Фиг. 292.

въ самомъ центрѣ зеркала, то обратное изображеніе ея придется въ томъ же мѣстѣ гдѣ она сама находится. Когда свѣча находится между центромъ и фокусомъ, то изображеніе получается дальше центра въ увеличенномъ видѣ. Такъ еслибы свѣча была въ P', то экранъ надо бы поставить въ P чтобы принять увеличенное изображеніе свѣчи.

§ 236. Теоретическій разборъ частныхъ случаевъ. Согласно сказанному,—если предметъ находится на разстояніи d отъ

зеркала, то *мѣсто* его изображенія будетъ на разстояніи f опредѣляемомъ изъ формулы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R}\text{, откуда } f = \frac{dR}{2d-R}$$

Величина изображенія опредѣлится угломъ, образуемымъ линіями, проведенными отъ вершины и основанія предмета чрезъ центръ зеркала.

Изъ чертежа (фиг. 291, стр. 323) видно что $ba : AB = (d-R) : (R-f)$, а такъ какъ согласно § 229 $(d-R) : (R-f) = d : f$, то слѣдовательно $ba : AB = d : f$. Линейная *величина предмета относится къ величинѣ изображенія какъ разстояніе предмета къ разстоянію изображенія отъ зеркала.*

Разберемъ нѣсколько частныхъ случаевъ.

1. Если предметъ находится на безконечномъ или вообще очень далекомъ разстояніи, то $\frac{1}{d} = 0$, слѣд. $\frac{1}{f} = \frac{2}{R}$ и $f = F = \frac{R}{2}$. Изображеніе будетъ въ главномъ фокусѣ. Такъ бываетъ, напримѣръ, когда зеркало сбираетъ солнечные лучи: въ фокусѣ получается небольшое яркое изображеніе солнца. Измѣривъ разстояніе этого изображенія отъ зеркала опредѣляютъ фокусное разстояніе зеркала. Удвоивъ фокусное разстояніе, находимъ величину радіуса, буде она неизвѣстна.

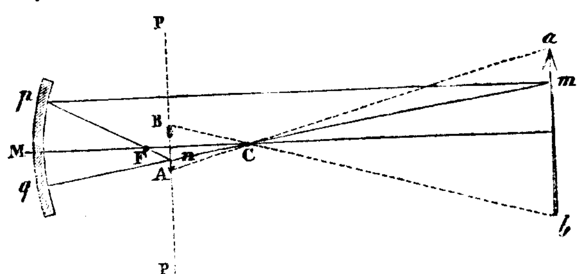
2. Когда d болѣе R, то-есть предметъ находится отъ зеркала далѣе центра, то f менѣе R, но болѣе $\frac{1}{2}R$, и изображеніе находится между главнымъ фокусомъ и центромъ. Изображеніе менѣе предмета такъ какъ f менѣе d.

3. Если $d = R$ и слѣдовательно предметъ въ самомъ центрѣ или на *двойномъ фокусномъ разстояніи* отъ зеркала, то $f=R$. Изображеніе, будучи такой же величины (ибо $d=f$) и на томъ же мѣстѣ какъ предметъ, совпадаетъ съ предметомъ, но такъ какъ оно обратное, то вершина изображенія попадаетъ на основаніе предмета, и основаніе изображенія на вершину предмета. На опытѣ, если поставить свѣчу у центра зеркала, но немного въ сторону отъ оси, то на экранѣ поставленномъ рядомъ со свѣчею получимъ по другую сторону оси обратное изображеніе свѣчи той же величины какъ сама свѣча.

4. Если d менѣе чѣмъ R, но болѣе $\frac{1}{2}R$, то f будетъ болѣе чѣмъ R и изображеніе получится далѣе центра и въ увеличенномъ видѣ, ибо f болѣе d. Такъ если на фиг. 291 стр. 323 AB есть предметъ, то ba его изображеніе. Вогнутое зеркало можетъ потому служить для того чтобы малый, ярко освѣщенный предметъ, помѣщенный между центромъ и фокусомъ, изобразить въ увеличенномъ видѣ на экранѣ.

5 Если d менѣе $\frac{1}{2}R$, тогда f будетъ имѣть отрицательную величину и тогда передъ зеркаломъ не получится изображенія предмета.

Не прибѣгая къ вычисленію, не трудно на чертежѣ построить по данному предмету его изображеніе помощію слѣдующаго графическаго пріема. Проведемъ одинъ изъ лучей, идущихъ отъ предмета параллельно оси, напримѣръ лучъ mb выходящій изъ точки m предмета (фиг. 293). Лучъ этотъ, какъ параллельный оси,



Фиг. 293.

по отраженіи пройдетъ чрезъ главный фокусъ F или средину радіуса. Лучъ идущій отъ m чрезъ центръ зеркала, будучи перпендикуляренъ къ поверхности зеркала, отразится по тому направленію какъ пришелъ. Пересѣченіе двухъ этихъ отраженныхъ лучей въ точкѣ n опредѣлитъ мѣсто изображенія точки m, то-есть точку гдѣ по отраженіи соберутся *всѣ* лучи, выходящіе изъ m. Изображенія всѣхъ другихъ точекъ будутъ находиться въ плоскости PP проведенной чрезъ n перпендикулярно къ оси. Все изображеніе предмета ba опредѣлится, если отъ его вершины b и основанія a проведемъ линіи чрезъ центръ c зеркала до пересѣченія съ плоскостію PP.

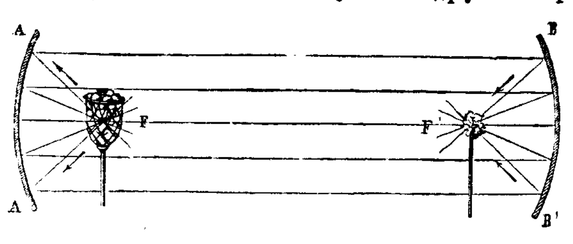
§ 237. Употребленіе вогнутаго зеркала въ качествѣ собирающаго теплоту. Вогнутое зеркало, собирая лучи свѣта, собираетъ также и теплоту. Металлическое вогнутое зеркало выставленное на солнце, давая въ своемъ главномъ фокусѣ яркое маленькое изображеніе солнца, тутъ же обнаруживаетъ сильное нагрѣвающее дѣйствіе, воспламеняя и расплавляя тѣла. Такія зеркала называются зажигательными. Ихъ дѣйствіе извѣстно съ древности, и сохранилась легенда, будто Архимедъ дѣйствіемъ зеркалъ сжегъ римскій флотъ, подошедшій къ стѣнамъ Сиракузъ *). Наблюденіе дѣйствія вогну-

*) Упоминаемый въ § 227 опытъ Бюффона былъ имъ сдѣланъ съ цѣлью осуществить сказаніе о зеркалѣ Архимеда помощію сло-

тыхъ зеркалъ послужило главнымъ основаніемъ къ составленію ученія о *лучистой теплотѣ* или о невидимыхъ лучахъ теплоты, распространяющихся по тѣмъ же законамъ какъ и лучи свѣта.

Маріоттъ въ 1682 году сдѣлалъ важное наблюденіе, что не только теплота солнца, но и теплота разведеннаго на очагѣ огня также собирается зеркаломъ и „чувствуется въ его фокусѣ; но если помѣстить между зеркаломъ и фокусомъ кусокъ стекла, то теплота становится неощутительною".

Германскій ученый, Ламбертъ *), поставивъ два зеркала одно противъ другаго, на разстояніи 20 футовъ, и помѣстивъ въ фокусѣ F одного изъ нихъ (фиг. 294) раскаленные угли, зажигалъ въ фокусѣ F' другаго трутъ и



Фиг. 294.

вообще воспламеняющіяся тѣла. Ламбертъ пришелъ къ заключенію, что нагрѣваніе происходитъ не столько отъ свѣта или *свѣтлой теплоты* угля, сколько отъ его *темной* теплоты, не возбуждающей ощущенія свѣта.

жнаго зеркала, такъ какъ сферическое зеркало собирающее лучи на половинѣ своего радіуса не можетъ сосредоточить теплоту на дальнемъ разстояніи.

*) Родился въ 1728 году, сынъ портнаго; въ качествѣ домашняго учителя два года путешествовалъ съ своими воспитанниками по Европѣ. Авторъ замѣчательныхъ сочиненій *Фотометрія* и *Пирометрія* и нѣсколькихъ славившихся въ свое время философскихъ трактатовъ. Умеръ 1777 года въ Берлинѣ, будучи членомъ тамошней Академіи Наукъ.

Собирая въ фокусѣ большаго зажигательнаго стекла свѣтъ сильнаго огня разведеннаго въ каминѣ, онъ замѣтилъ что нагрѣвающее дѣйствіе въ этомъ случаѣ бываетъ весьма слабо и едва чувствительно для руки: стекло, пропускающее свѣтъ, задерживаетъ темную теплоту. По этой же причинѣ вогнутое стеклянное зеркало, сильно отражая свѣтъ своею амалгамированною поверхностію, мало собираетъ теплоты, поглощаемой его толщею. Шведскій ученый Шеле (Scheele)*) ввелъ употребленіе термина *лучистая теплота*, для обозначенія непосредственнаго нагрѣвающаго дѣйствія тѣлъ чрезъ пустоту и воздухъ, и показалъ что воздухъ самъ по себѣ холодный или находящійся въ движеніи не препятствуетъ непосредственному дѣйствію нагрѣтаго тѣла или распространенію лучей теплоты.

Вопросъ о распространеніи и отраженіи невидимыхъ лучей теплоты въ особенности привлекъ вниманіе ученыхъ послѣ опытовъ Соссюра и Пикте **) и сочиненія послѣдняго *Объ огнѣ*. Зеркала, какими пользовались эти ученые, были изъ олова, футъ въ діаметрѣ, и имѣли фокусъ на 4½ дюймахъ. „Мы взяли, говоритъ Соссюръ, желѣзное ядро, двухъ дюймовъ въ діаметрѣ, сильно раскалили его, такъ чтобъ оно прогрѣлось до центра; затѣмъ дали ему охладиться до той степени что оно перестало свѣтиться даже и въ темнотѣ. Два зеркала были поставлены одно противъ другаго на разстояніи 12 футовъ; въ фокусѣ одного помѣстили ядро, въ фокусѣ другаго термометръ... Тотчасъ какъ ядро было поставлено въ фокусѣ, термометръ сталъ повышаться, и въ шесть ми-

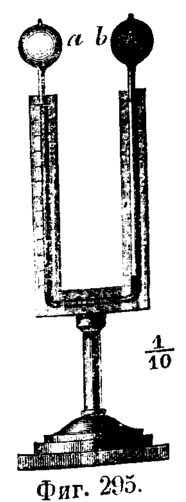
*) Въ его сочиненіи *Химическія изысканія о воздухѣ и огнѣ*, 1777 года.

**) Пикте (Pictet)—женевскій ученый, родившійся въ 1752 г., умершій въ 1825. Профессоръ философіи и потомъ призидентъ Женевской Академіи. Одинъ изъ основателей замѣчательнаго изданія *Bibliothèque Britannique* (переименованнаго съ 1816 года въ *Bibliothèque Universelle*).

нутъ поднялся на $10^1/_2$ градусовъ; тогда какъ другой термометръ, поставленный на такомъ же разстояніи отъ ядра и отъ наблюдателя, показалъ повышеніе лишь на $2^1/_2$ градуса... Чтобы устранить всякое подозрѣніе относительно свѣта, Пикте произвелъ опытъ, вмѣсто ядра, съ сосудомъ наполненнымъ кипящею водой, и температура одного фокуса повысилась болѣе чѣмъ на градусъ“.

Описанные опыты, очевидно, доказываютъ, что отъ нагрѣтаго тѣла распространяются невидимые лучи теплоты, подчиняющіеся тѣмъ же законамъ распространенія и отраженія какъ лучи свѣта.

§ 238. Снаряды для изученія лучистой теплоты. Обыкновенный термометръ не довольно чувствителенъ для обнаруженія дѣйствія лучей теплоты. Лесли для этой цѣли употреблялъ особый, изобрѣтенный имъ *дифференціальный термометръ*. „Это есть, говоритъ онъ, не иное что какъ измѣненный, впрочемъ въ существенныхъ пунктахъ, воздушный термометръ. Онъ состоитъ изъ согнутой (фиг. 295) въ формѣ буквы U трубки оканчивающейся на обоихъ концахъ шариками, наполненными воздухомъ. Въ трубкѣ находится сѣрная кислота подкрашенная карминомъ. Если оба шарика имѣютъ одинаковую температуру, то жидкая масса остается въ покоѣ; но если одинъ шарикъ нагрѣется болѣе другаго, то вслѣдствіе увеличившейся упругости воздуха, жидкость съ его стороны понизится. Я выбралъ такую трудно испаряющуюся жидкость какъ сѣрная кислота, дабы при перемѣнахъ температуры воздухъ оставался сухимъ“, и присутствіе пара жидкости не осложняло бы явленія *). Почти

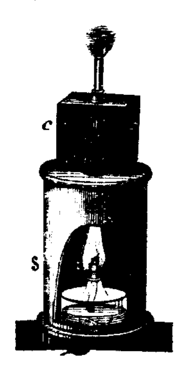


Фиг. 295.

*) Лесли изобрѣлъ дифференціальный термометръ, изучая сравнительныя показанія сухаго термометра и другаго погруженнаго въ испаряющуюся влагу, и напалъ на мысль, что снарядъ описаннаго устройства всего удобнѣе для этой цѣли. Онъ покрывалъ одинъ изъ шариковъ кисеей, которую смачивалъ водой, и наблюдалъ соотвѣтствующее измѣненіе высотъ сѣрной кислоты въ колѣнахъ трубки. Тѣмъ же снарядомъ онъ думалъ

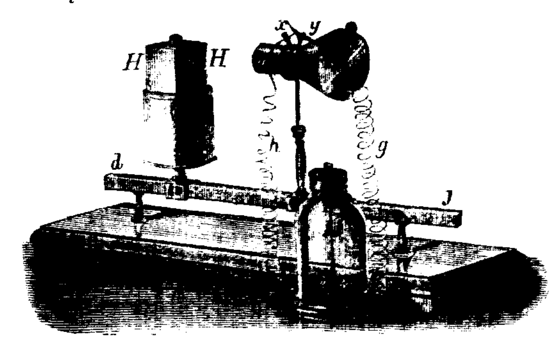
такого же устройства инструментъ употреблялъ въ своихъ изслѣдованіяхъ Румфордъ, изобрѣтшій свой снарядъ независимо отъ Лесли. Для того чтобы всѣ лучи, падающіе на шарикъ термометра, оказывали свое дѣйствіе, и какъ отражаемая такъ и проходящая часть были по возможности ничтожны, шарикъ долженъ быть покрытъ слоемъ вещества особенно сильно поглощающаго лучи, обыкновенно сажею, которая, какъ показалъ опытъ, есть тѣло по преимуществу обладающее поглощательною способностію. Если, напротивъ, желаютъ чтобы шарикъ оставался въ равновѣсіи температуры съ окружающимъ его воздухомъ и былъ защищенъ отъ лучистаго дѣйствія окружающихъ тѣлъ, то облекаютъ его мѣднымъ отполированнымъ цилиндромъ сильно отражающимъ лучи.

Какъ источникъ теплоты Лесли обыкновенно употреблялъ кубъ носящій его имя, (фиг. 296), то-есть четыреугольный ящикъ, наполненный кипящею водою. Лесли облагалъ его стѣнки слоями разныхъ веществъ чтобы изучать испусканіе лучей разными поверхностями.



Фиг. 296.

Въ новѣйшее время для изученія лучистой теплоты пользуются главнымъ образомъ снарядомъ италіянскаго ученаго Меллони (труды его относятся къ тридцатымъ годамъ нынѣшняго столѣтія). Снарядъ основывается на возбужденіи, нагрѣвающимъ дѣйствіемъ лучей, электрическаго тока въ термоэлектрическомъ столбикѣ, состоящемъ изъ спаянныхъ концами палочекъ висмута и сюрьмы. Лучи, идущіе отъ источника, напримѣръ отъ куба *HH* (фиг. 297), нагрѣвая обращенные къ



Фиг. 297.

воспользоваться въ качествѣ фотометра, и для этого одинъ изъ шариковъ оставлялъ прозрачнымъ, другой же покрывалъ

нему спаи столбика, возбуждаютъ токъ, о присутствіи и силѣ котораго наблюдатель узнаетъ по отклоненію стрѣлки гальванометра *M*.

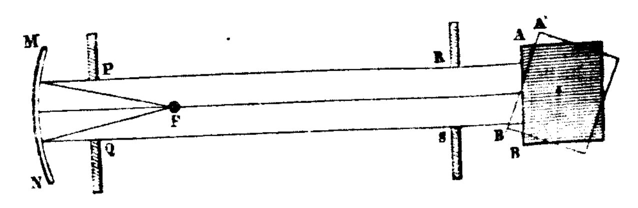
§ 239. Лучеиспусканіе чрезъ поверхности различныхъ физическихъ свойствъ. При той же температурѣ тѣло испускаетъ весьма различныя количества теплоты, смотря по свойствамъ слоя ограничивающаго его при поверхности. Лесли пользовался двумя пріемами для сравнительнаго опредѣленія силы *лучеиспусканія* чрезъ поверхность въ различныхъ случаяхъ. Вопервыхъ, онъ наблюдалъ съ какою скоростью охлаждается тѣло, если оно ограничено слоями различныхъ свойствъ. „Если взять, говоритъ онъ, два одинаковыхъ шарика изъ тонкаго гладкаго серебра, одинъ не покрытый, а другой облеченный тонкимъ батистомъ (или оклеенный тонкою бумагой), наполнить оба горячею водой и повѣсить въ закрытомъ мѣстѣ, то первый потеряетъ 11 частей своей теплоты, въ то время какъ второй потеряетъ ихъ двадцать“. Такимъ образомъ тѣло ограниченное металлическимъ слоемъ теряетъ почти вдвое менѣе теплоты чѣмъ покрытое бумагой, а это свидѣтельствуетъ что чрезъ металлическую поверхность, при тѣхъ же условіяхъ, выходитъ значительно меньше теплоты чѣмъ чрезъ бумажную. „Слабое лучеиспусканіе металлической поверхности сравнительно съ стеклянною или бумажною, прибавляетъ Лесли, можно замѣтить даже при самыхъ простыхъ опытахъ. Если наполнить стеклянный или фаянсовый сосудъ кипящею водою, то приближенная рука, на разстояніи 1 или 2 дюймовъ отъ нагрѣтой поверхности, ощущаетъ пріятную теплоту; тогда какъ въ случаѣ се-

черною тушью (или выдувалъ изъ черной эмали). Онъ полагалъ, что „лучи падающіе на прозрачный шарикъ, проходятъ чрезъ него не встрѣчая препятствія; падающіе же на черный поглощаются и дѣйствуютъ какъ теплота“. Допущеніе неточное какъ разъяснится ниже.

ребрянаго сосуда, также наполненнаго горячею водой, едва можно ощутить нѣкоторую теплоту, если приблизить руку почти до прикосновенія къ металлу“. Вовторыхъ, Лесли ставилъ предъ вогнутымъ металлическимъ зеркаломъ свой кубъ; въ фокусѣ же помѣщалъ покрытый копотью шарикъ термометра. Дѣйствіе оказалось наибольшимъ когда кубъ былъ обращенъ къ зеркалу своею зачерненною стороною, наименьшимъ когда лучи выходили изъ металлической поверхности.

Лесли замѣтилъ что исчерченная металлическая поверхность испускаетъ болѣе лучей чѣмъ полированная, и заключилъ, что вообще лучеиспусканіе неровной поверхности значительнѣе чѣмъ гладкой—заключеніе, какъ показалъ Меллони, не совсѣмъ точное, ибо есть случаи когда матовая металлическая поверхность испускаетъ болѣе лучей чѣмъ полированная. О томъ что между степенью гладкости и лучеиспусканіемъ нѣтъ необходимой связи свидѣтельствуетъ, по мнѣнію Меллони, уже то обстоятельство, что полированная стеклянная поверхность испускаетъ гораздо болѣе лучей чѣмъ исчерченная металлическая.

Лесли принадлежитъ еще слѣдующій замѣчательный опытъ, доказывающій что всякій элементъ поверхности оказываетъ въ перпендикулярномъ къ нему направленіи болѣе сильное нагрѣвающее дѣйствіе чѣмъ въ направленіи наклонномъ, или, другими словами, въ перпендикулярномъ направленіи испускаетъ болѣе лучей, чѣмъ въ наклонномъ. Помѣстивъ предъ кубомъ (фиг. 298) экранъ съ отверстіемъ *RS* меньшимъ чѣмъ



Фиг. 298.

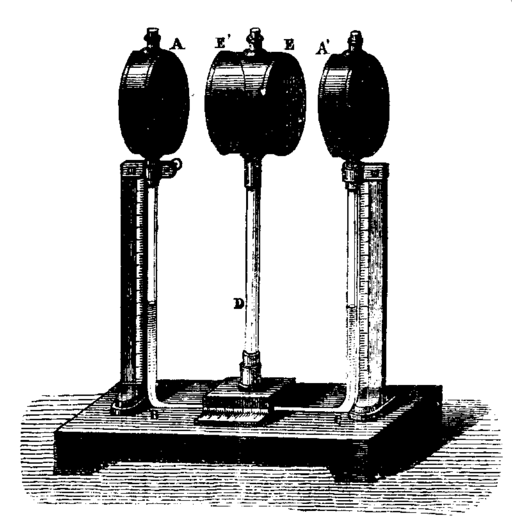
сторона куба *AB*, Лесли убѣдился что дѣйствіе куба на шарикъ термометра *F*, помѣщеннаго, для усиленія дѣйствія, въ фокусѣ вогнутаго зеркала *MN*, остается одинаковымъ стоитъ ли кубъ параллельно отверстію и слѣдовательно дѣйствуетъ лучами перпендикулярно выходящими или поставленъ наклон-

но. Хотя въ послѣднемъ случаѣ болѣе значительная часть поверхности куба доставляетъ лучи шарику F, но ихъ дѣйствіе слабѣе, такъ какъ они вышли наклонно изъ нагрѣвающей поверхности. Если назовемъ α уголъ образуемый направленіемъ испускаемыхъ лучей съ перпендикуляромъ къ испускающей плоскости ($\alpha=0$ если лучъ выходитъ перпендикулярно), то не трудно убѣдиться что изъ описаннаго опыта слѣдуетъ, что нагрѣвающее дѣйствіе данной плоскости пропорціонально косинусу этого угла. Тотъ же законъ прилагается и къ случаю лучей свѣта. Имъ объясняется почему солнце или раскаленный шаръ кажутся какъ плоскіе свѣтящіеся круги.

§ 240. Лучепоглощеніе чрезъ поверхности различныхъ физическихъ свойствъ. Чѣмъ значительнѣе *лучеиспусканіе* данной поверхности, тѣмъ вообще значительнѣе и *поглощеніе* лучей, какое она обнаруживаетъ когда на нее падаютъ лучи теплоты отъ посторонняго источника. Чтобы сравнивать поглощеніе теплоты различными поверхностями, Лесли помѣщалъ въ фокусѣ зеркала шарикъ своего термометра, покрывая его тонкими слоями разныхъ свойствъ: слоемъ сажи, тонкою бумагой, металлическимъ листомъ и т. д. Онъ убѣдился, что лучепоглощеніе пропорціонально лучеиспусканію.

Англійскій физикъ Ритчи (Ritchie) подтвердилъ это
заключеніе (1827 г.) слѣдующимъ опытомъ. „Инструментъ
(фиг. 299 представлялъ собою большой дифференціальный
термометръ съ цилиндрическими камерами изъ тончайшей
жести... Боковая поверхность одной изъ камеръ покры-
та сажей, тогда какъ противолежащая ей поверхность A'
другой камеры оставлена блестящею.. Цилиндръ изъ же-
сти $E'E$ такого же діаметра какъ камеры помѣщается то-
чно въ срединѣ между ними. Одна его сторона покрыта
сажей, другая оставлена блестящею. Если наполнить его го-
рячею водою, то замѣчаются слѣдующія явленія: 1) Если по-
крытая сажею сторона цилиндра EE' обращена къ покрытой
же сажею сторонѣ A, то спиртъ въ каналѣ камеры A очень
быстро опускается, ибо отъ покрытой сажею стороны средня-
го цилиндра много лучей поглощается поверхностію A... 2)
Если, снявъ цилиндръ, вновь помѣстимъ его въ срединѣ, но
такъ чтобъ его покрытая сажею сторона была обращена къ
блестящей сторонѣ камеры A', а его блестящая сторона къ
покрытой сажею сторонѣ камеры A, и налить горячею во-
дою, то спиртъ въ термометрѣ *останется совершенно въ
покоѣ*. Причина этого явленія ясна. Покрытая сажею сторо-
на цилиндра EE' испускаетъ теплоту въ обиліи; допустимъ,

напримѣръ, въ десять разъ болѣе чѣмъ полированная. Эта теплота падаетъ на поверхность съ слабою поглощаемостію,



Фиг. 299.

которая согласно нашему допущенію можетъ поглотить лишь десятую долю падающей теплоты. Другая сторона цилиндра испускаетъ малое количество теплоты, —единицу согласно нашему допущенію,—но оно все поглощается камерой A и передается заключающемуся въ ней воздуху. Такъ какъ дѣйствіе на обѣ камеры одинаково, то заключаемъ что способность лучеиспусканія равна способности лучепоглощенія“.

Чѣмъ болѣе данная поверхность поглощаетъ падающихъ лучей, тѣмъ меньшее, слѣдовательно, количество ихъ отражается (отчасти правильно, отчасти чрезъ разсѣяніе). Уже Шеле сдѣлалъ любопытное наблюденіе, показывающее соотношеніе между отраженіемъ и поглощеніемъ теплоты. Если держать предъ очагомъ металлическое полированное зеркало, то оно, въ обиліи отражая лучи, само мало нагрѣвается, какъ можно замѣтить прикасаясь къ его задней поверхности рукою. Но если покрыть его отражающую поверхность сажею, то отраженіе почти

прекратится, за то поглощеніе сдѣлается весьма значительнымъ. „Черезъ четыре минуты, замѣчаетъ Шеле, уже едва можно было держать его въ рукѣ.

§ 241. **Кажущееся отраженіе холода.** Съ давнихъ поръ извѣстно, что вогнутое зеркало собираетъ не только свѣтъ и теплоту, но и холодъ. Порта говоритъ: „Удивленія достойно что, подобно теплотѣ, и холодъ отражается: если на мѣсто (отражаемаго предмета) помѣстить снѣгъ, то глазъ принимая отраженіе ощущаетъ даже холодъ, ибо очень чувствителенъ“ *). Подобные опыты дѣлали флорентинскіе академики, обнаруживая холодъ въ фокусѣ зеркала помощію термометра. Опытъ легко произвести помощію двухъ зеркалъ, помѣщая въ фокусѣ одного холодный сосудъ, а въ фокусѣ другаго шарикъ дифференціальнаго термометра. Размышленіе объ этомъ явленіи привело женевскаго физика конца прошлаго столѣтія Прево (Prevost) къ теоріи *подвижнаго равновѣсія температуры*, нынѣ общепринятой и весьма просто объясняющей кажущееся отраженіе холода. Согласно этой теоріи, обмѣнъ теплоты между тѣлами происходитъ не только въ томъ случаѣ когда данное тѣло окружено другими разной съ нимъ температуры, но и въ томъ случаѣ когда окружающія тѣла имѣютъ одинаковую съ нимъ температуру; и если тѣло сохраняетъ постоянную температуру, то это значитъ только что количество теплоты получаемое имъ равно тому какое оно отдаетъ въ то же время. Тѣло охлаждается когда оно получаетъ менѣе теплоты чѣмъ сколько испускаетъ; оно нагрѣвается въ противномъ случаѣ. Если въ фокусѣ одного изъ сопряженныхъ зеркалъ находится

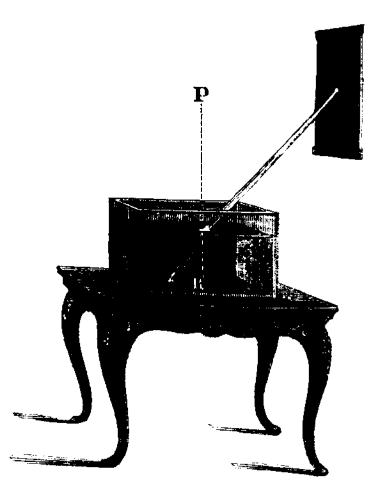
*) „Но еще удивительнѣе, прибавляетъ Порта, что зеркало собираетъ не только тепло и холодъ, но и голосъ исполняя роль эхо, ибо голосъ отъ полированной вогнутой поверхности прямѣй и полнѣе отражается чѣмъ отъ какой-либо стѣнки“.

термометръ, то онъ испускаетъ изъ себя лучи теплоты; часть этихъ лучей послѣ двукратнаго отраженія собирается въ фокусѣ втораго зеркала. Если въ этомъ фокусѣ нѣтъ никакого тѣла, то пересѣкшіеся лучи продолжаютъ далѣе свой путь до встрѣчи съ окружающими тѣлами, которые всѣ предполагаемъ той же температуры какъ и термометръ. Наоборотъ, по тѣмъ же путямъ, но въ противоположномъ направленіи, идетъ теплота отъ окружающихъ тѣлъ ко второму зеркалу, отъ него къ первому и, по отраженіи, къ термометру. И такъ какъ каждому вышедшему лучу соотвѣтствуетъ возвращающійся той же силы, то температура термометра остается безъ перемѣны. Но если въ фокусѣ втораго зеркала находится кусокъ льда или вообще холодное тѣло, то тѣло это загородитъ путь лучамъ окружающихъ предметовъ и обратно приходящіе лучи будутъ тѣ которые идутъ отъ него самого; они принесутъ къ термометру менѣе теплоты чѣмъ сколько уносится вышедшими изъ него лучами. Термометръ обнаружитъ пониженіе температуры.

Указанное Лесли правило, что тѣла сильно отражающія теплоту мало поглощаютъ ея и наоборотъ, есть короллярій теоріи подвижнаго равновѣсія. Въ самомъ дѣлѣ, пусть термометръ покрытый тонкою металлическою оболочкой (сильно отражающею) находится внутри оболочки покрытой сажей и имѣющей одинаковую съ нимъ температуру. Допустимъ что металлическая оболочка отражаетъ, напримѣръ, 80 лучей изо ста падающихъ. Слѣдовательно 20 поглощаются, но такъ какъ температура термометра, какъ свидѣтельствуетъ опытъ, не повышается, то онъ столько же долженъ испускать теплоты: поглощеніе и испусканіе равны между собою. Еслибы термометръ былъ покрытъ сажею, то отраженіе было бы крайне слабо; онъ поглощалъ бы почти всѣ сто лучей. Столько же слѣдовательно испускалъ бы. Видимъ что хорошій рефлекторъ есть слабый лучеиспускатель и наоборотъ. Прибавимъ, что объясняя отраженіе холода, мы не обращали вниманія на лучеиспусканіе самаго вещества зеркала, какъ бы предполагая его совершеннымъ рефлекторомъ.

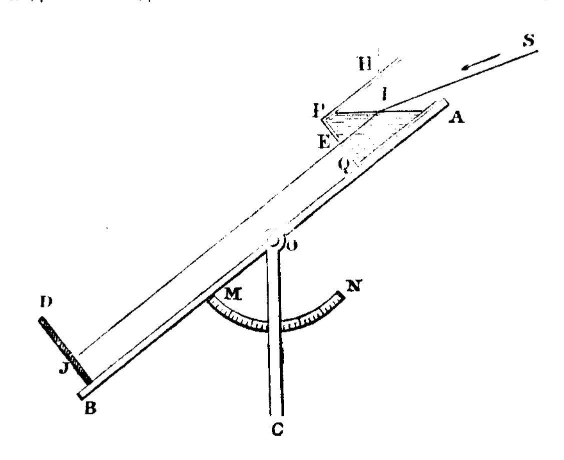
Преломленіе лучей свѣта.

§ 242. Преломленіе лучей свѣта при переходѣ изъ воздуха въ прозрачныя твердыя или жидкія тѣла. Пропустивъ тонкій пучокъ солнечныхъ лучей чрезъ отверстіе въ ставнѣ (фиг. 300), подставимъ сосудъ наполненный водою или иною прозрачною жидкостью такъ чтобы пучокъ косвенно идущій упалъ на ея горизонтальную поверхность. Войдя въ жидкость, онъ *преломится*, такъ что путь его отъ отверстія въ ставнѣ до дна сосуда обозначится ломаною линіей. Путь этотъ, благодаря разсѣянію, можно видимо прослѣдить въ воздухѣ и въ жидкости. Относя разсужденія къ центральному лучу пучка, можемъ весь пучокъ разсматривать какъ одинъ лучъ. Уголъ, который падающій лучъ дѣлаетъ съ перпендикуляромъ PP въ точкѣ паденія называется *угломъ паденія* и плоскость въ которой этотъ уголъ заключается — *плоскостью паденія*; уголъ преломленнаго луча съ продолженіемъ того же перпендикуляра PR именуется *угломъ преломленія*. Уголъ преломленія въ разсматриваемомъ случаѣ менѣе угла паденія: лучъ *приближается* къ перпендикуляру. Если лучъ вступаетъ въ прозрачное тѣло перпендикулярно къ его поверхности (когда слѣдовательно уголъ паденія равенъ нулю), то онъ *не преломляется*. Въ этомъ можно убѣдиться, поставивъ въ описанномъ опытѣ на пути пучка и перпендикулярно къ его оси кусокъ стекла ограниченный двумя параллельными полированными плоскостями, или отразивъ помощію зеркала пучокъ такъ чтобы онъ упалъ отвѣсно на поверхность жидкости: пучокъ пройдетъ безъ отклоненія.



Фиг. 300.

Описанный опытъ съ сосудомъ можно сдѣлать измѣрительнымъ, если, какъ поступалъ Ньютонъ, укрѣпить сосудъ (фиг. 301) на доскѣ и дать ей такое положеніе и наклонъ, чтобы

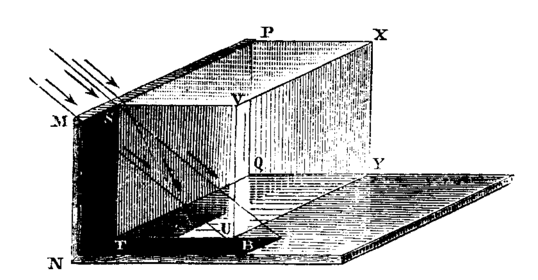


Фиг. 301.

преломленный лучъ упалъ перпендикулярно на средину дна, сдѣланную изъ стеклянной пластинки однообразной толщины (въ такомъ случаѣ средина свѣтлаго пятна на экранѣ D должна быть въ точкѣ J соотвѣтствующей центру дна). Уголъ MOC по параллельности сторонъ равенъ углу преломленія. Уголъ паденія найдется, если опорожнивъ сосудъ и наклоняя доску увеличимъ уголъ MOC до той величины когда дно PQ станетъ перпендикулярно къ направленію падающаго луча SI. и свѣтлое пятно вновь будетъ въ J.

Еще прежде Кеплеръ изучалъ преломленіе въ стеклѣ помѣщая прямоугольный стеклянный параллелепипедъ (фиг. 302) въ углѣ деревяннаго станка, такъ чтобы линія MP, гдѣ отъ M до P прилегаетъ ребро стекла, „была перпендикулярна солнечнымъ лучамъ при всякомъ наклонѣ плоскости MX къ тѣмъ же лучамъ... Лучи между M и S, не встрѣчая на пути иного прозрачнаго тѣла кромѣ воздуха, пройдутъ чрезъ край MS въ прямомъ направленіи, такъ что MS броситъ тѣнь въ B... Тѣ

же лучи которые падаютъ между S и P, вступя въ прозрачную поверхность MX, преломятся, приближаясь къ перпендикуляру ST, и ребро SP чрезъ стекло бросить тѣнь до Z болѣе короткую...“



Фиг. 302.

§ 243. Законы преломленія въ указанныхъ случаяхъ.

Первый законъ: уголъ паденія и уголъ преломленія находятся въ одной плоскости. Другими словами, преломленный лучъ не выходитъ изъ *плоскости паденія.*

Потому при графическомъ изображеніи удобно представлять явленіе въ плоскости паденія, то-есть принимать плоскость чертежа за плоскость проведенную чрезъ падающій лучъ и перпендикуляръ паденія: лучъ преломленный изобразится въ той же плоскости.

*Второй законъ**). Въ случаяхъ, когда уголъ паденія имѣетъ незначительную величину, можно принимать что уголъ преломленія составляетъ опредѣленную его часть, различную для разныхъ преломляющихъ тѣлъ, 2/3 въ случаѣ стекла, 3/4 въ случаѣ воды и т. д..

Во всѣхъ же случаяхъ вообще: *синусъ угла паденія къ синусу угла преломленія находится въ постоянномъ отношеніи, именуемомъ „показателемъ преломленія“.*

Для поясненія этого закона обратимся къ слѣдующей таблицѣ, гдѣ для угловъ паденія отъ 0° до 80° означены, въ круглыхъ числахъ, величины соотвѣтствующихъ угловъ преломленія въ случаѣ воды и

*) Объ открытіи этого закона Снелліемъ и Декартомъ будемъ говорить ниже.

стекла. Таблица эта можетъ дать понятіе о томъ, какъ съ увеличеніемъ угла паденія увеличивается соотвѣтственно и уголъ преломленія.

Вода.		Стекло.	
Уголъ паденія.	Уголъ преломл.	Уголъ паденія.	Уголъ преломл.
4°	3°	6°	4°
8°	6°	12°	8°
		18°	12°
20°	15°	30°	19½°
60°	40½°	60°	35°
80°	47½°	80°	41°

Видимъ, что градусовъ до 20 уголъ преломленія пропорціоналенъ углу паденія и составляетъ въ случаѣ воды 3/4, въ случаѣ стекла 2/3 угла паденія. Такимъ образомъ назвавъ уголъ паденія буквою i, уголъ преломленія буквою r, отношеніе ихъ или *показатель преломленія* буквою n, можемъ, при небольшихъ углахъ паденія, принять

$$\frac{i}{r} = n \quad \text{или} \quad i = nr$$

Но при болѣе значительныхъ углахъ эта пропорціональность не сохраняется болѣе, и напримѣръ, въ случаѣ воды, при углѣ паденія 80°, уголъ преломленія не есть 3/4 отъ 80, то-есть 60°, а только 47½°; въ случаѣ стекла при углѣ паденія 60°, уголъ преломленія 35° вмѣсто 40° какимъ онъ былъ бы еслибы равнялся 2/3 угла паденія. Но если вмѣсто того чтобы сравнивать самые углы, станемъ сравнивать ихъ *синусы*, то можемъ убѣдиться что синусъ угла преломленія всегда составляетъ опредѣленную часть синуса угла паденія; 3/4 въ случаѣ воды, 2/3 въ случаѣ стекла и т. д. Дѣйствительно, синусъ 80° есть 0,9848; взявъ 3/4 отъ этого числа получимъ 0.7386, а это и есть весьма близко $\sin 47½°$; подобнымъ образомъ 2/3 $\sin 80° = 0,6565$, то-есть величина весьма близкая къ $\sin 41°$.

Такимъ образомъ, какъ сказано выше, вообще *синусъ угла паденія къ синусу угла преломленія находится въ постоянномъ отношеніи.* Законъ выражается формулою

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \quad \text{или} \quad \sin i = n . \sin r$$

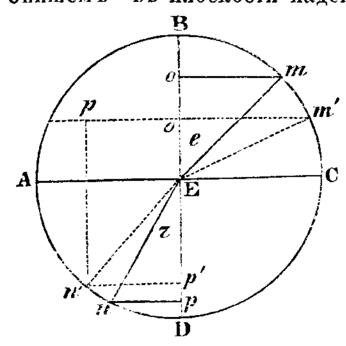
гдѣ n *показатель преломленія.* Въ случаѣ луча переходящаго изъ воздуха въ воду $n = 4/3$, изъ воздуха въ стекло $n = 3/2$.

При небольшихъ углахъ отношеніе синусовъ почти равно отношенію угловъ, и слѣдовательно можно принять просто

$$i = nr$$

какъ было упомянуто выше.

Чтобы пояснить на чертежѣ второй законъ преломленія опишемъ въ плоскости паденія около точки E, гдѣ падающій лучъ mE вступаетъ въ преломляющую поверхность AC,— кругъ произвольнымъ радіусомъ. Уголъ BEm будетъ уголъ паденія, уголъ DEn угломъ преломленія. Величина линіи mo сравнительно съ величиною радіуса будетъ синусомъ угла паденія, величина линіи np сравниваемая съ радіусомъ будетъ синусъ угла преломленія. Отношеніе длины линіи mo къ длинѣ линіи np будетъ отношеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія.



Фиг. 303.

Смыслъ втораго закона тотъ, что если при углѣ паденія BEm синусъ np есть $^2/_3$ синуса mo, то и при всякомъ другомъ углѣ BEm' соотвѣтствующій синусъ $n'p'$ есть $^2/_3$ синуса $m'o$. Согласно этому закону, если хотимъ, въ случаѣ стекла, по данному падающему лучу $m'E$ найти преломленный, то должны, описавъ окружность около точки E, провести синусъ $m'o$ и продоливъ его во вторую четверть, отложить $op = {^2/_3}\, m'o$. Перпендикуляръ опущенный изъ p на AC опредѣлитъ точку n'. Соединивъ E съ n' найдемъ преломленный лучъ En'.

Указанные законы преломленія имѣютъ приложеніе не ко всѣмъ прозрачнымъ тѣламъ. Лучъ вступающій въ тѣла кристаллическаго строенія (за исключеніемъ такъ-называемой правильной системы) подчиняется въ своемъ преломленіи инымъ законамъ, болѣе сложнымъ чѣмъ два приведенные закона, именуемые законами Снеллія или Декарта. Кристаллическія тѣла вообще имѣютъ *двойное преломленіе* непосредственно замѣтное, впрочемъ, лишь въ немногихъ изъ нихъ и особенно въ исландскомъ шпатѣ и кварцѣ. Въ этихъ двухъ тѣлахъ вступающій пучокъ лучей явственно раздѣляется на два, изъ которыхъ одинъ слѣдуетъ обыкновеннымъ законамъ преломленія и называется *обыкновеннымъ лучомъ*, другой не повинуется имъ и называется *необыкновеннымъ*. Если пучокъ солнечныхъ лучей заставить упасть перпендикулярно на довольно толстый кусокъ исландскаго шпата, то только часть пройдетъ безъ преломленія и дастъ обыкновенное изображеніе (какъ еслибъ это былъ кусокъ

стекла), другая часть, преломясь, выйдетъ изъ плоскости паденія и слѣдуя своимъ путемъ дастъ другое изображеніе на нѣкоторомъ разстояніи отъ перваго.

Прибавимъ, что вышеприведенная таблица угловъ паденія и преломленія назначена главнымъ образомъ для уясненія смысла втораго закона и заключающіяся въ ней числа взяты не изъ дѣйствительно произведеннаго опыта, а вычислены на основаніи уже извѣстнаго закона преломленія и приведены къ круглымъ числамъ. Строгая справедливость законовъ преломленія доказывается не помощію непосредственнаго измѣренія угловъ паденія и преломленія, какъ мы здѣсь предполагали, а чрезъ изученіе случаевъ болѣе сложныхъ, но за то подлежащихъ вполнѣ точному измѣренію, преимущественно случая преломленія въ призмѣ (такая строгая повѣрка была сдѣлана между прочимъ Біо). Непосредственное измѣреніе угловъ паденія и преломленія можетъ дать лишь приблизительныя величины, ибо по многимъ причинамъ не можетъ быть исполнено точно, хотя и было достаточно для того чтобъ угадать истинный законъ преломленія.

§ 244. Переходъ луча изъ преломляющей среды въ воздухъ. Умѣя найти по данному падающему лучу направленіе преломленнаго въ случаѣ перехода луча изъ воздуха въ преломляющую среду, можемъ рѣшить и обратный вопросъ о переходѣ луча изъ преломляющей среды въ воздухъ на основаніи слѣдующаго общаго оптическаго правила: „во всѣхъ случаяхъ преломленія какъ и отраженія, если лучъ возвращается къ поверхности по прямо противоположному пути, то онъ пойдетъ послѣ втораго преломленія или отраженія по направленію прямо противуположному съ тѣмъ по какому прежде падалъ, такъ что тѣ же линіи означатъ его путь въ обоихъ случаяхъ“ *). Такъ если лучъ mE (фиг. 303) по преломленіи изъ воздуха въ стекло или иную среду принимаетъ путь En, *приближаясь* къ перпендикуляру, то обратно лучъ nE,

*) Юнгъ указываетъ слѣдующій простой опытъ для подтвержденія этого правила. „Если, ставъ предъ зеркаломъ, зажмурить одинъ глазъ и прикрыть пальцемъ на зеркалѣ его мѣсто отраженія), то тотъ же палецъ будетъ загораживать другой глазъ, какъ скоро его закроемъ, открывъ, вмѣсто его, первый. То же дѣйствіе наблюдается когда зеркало находится подъ водой или сзади другой какой преломляющей среды“.

пзъ нижней среды переходя въ верхнюю, приметъ путь Em и *удалится* отъ перпендикуляра. Углы nEP' и mEP сохраняя величину измѣняютъ значеніе, и первый будетъ угломъ паденія, второй угломъ преломленія.

Второй законъ выразится такъ:

$$\frac{sin \text{ угла преломленія}}{sin \text{ угла паденія}} = n$$ гдѣ n показатель преломленія

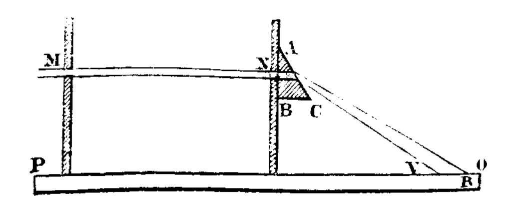
при переходѣ пзъ воздуха въ среду. Если же желаемъ законъ выразить въ той же формѣ какъ въ случаѣ перехода изъ воздуха въ среду, то должны написать:

$$\frac{sin \text{ угла пад.}}{sin \text{ угла прел.}} = \frac{1}{n}$$ или приближенно, при малости угловъ: $$\frac{\text{уголъ пад.}}{\text{уголъ прел.}} = \frac{1}{n}.$$

Величина $\frac{1}{n}$ есть показатель преломленія при переходѣ изъ среды въ воздухъ. Такимъ образомъ, такъ какъ показатель при переходѣ изъ воздуха въ стекло есть $^3/_2$; то показатель при переходѣ изъ стекла въ воздухъ есть $^2/_3$ и т. д.

Принимая упомянутое оптическое правило, Декартъ самое опредѣленіе показателя преломленія стекла и утвержденіе закона преломленія основалъ на наблюденіи *выходящаго* луча. Сравненіе такихъ опытовъ съ тѣми гдѣ наблюдается переходъ луча изъ воздуха въ среду подтверждаетъ справедливость допущеннаго правила.

Декартъ (фиг. 304) пропускалъ лучъ „чрезъ два маленькія от-



Фиг. 304.

верстія, расположенныя одно противъ другаго такъ чтобы проходящій чрезъ нихъ лучъ былъ параллеленъ основанію PR. За вторымъ отверстіемъ прилагался кусокъ стекла, обточенный въ фор-

му треугольника... Солнечный лучъ, пропущенный чрезъ отверстія, вступалъ въ стекло безъ всякаго преломленія, ибо встрѣчалъ его поверхность по перпендикулярному направленію. Но дойдя до стороны стекла AC, которую встрѣчалъ наклонно, преломлялся и выходилъ изъ нея отклонившись".

Таблица показателей преломленія нѣкоторыхъ тѣлъ.

Алмазъ	2.44
Анисовое масло	1,81
Оливковое масло	1,47
Сѣрнистый углеродъ	1,63
Спиртъ	1.37
Стекло кронъ	1,50
„ флинтъ	1,64
Вода	1,336

§ 245. Уголъ-предѣлъ. Полное внутреннее отраженіе.

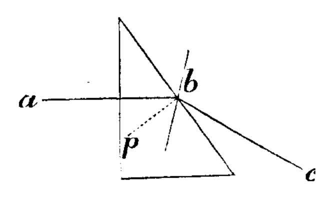
Изъ таблицы § 243, видимъ что при переходѣ изъ воздуха въ воду лучъ, дѣлающій уголъ паденія 80^0 по преломленіи, приближается къ перпендикуляру, такъ что дѣлаетъ съ нимъ уголъ меньшій чѣмъ $^3/_4$ угла паденія, а именно $47^1/_2{}^0$. Еслибы уголъ паденія былъ еще больше, напримѣръ почти 90^0, то и уголъ преломленія увеличился бы, но во всякомъ случаѣ былъ бы меньше трехъ четвертей угла паденія (то-есть менѣе $67^1/_2{}^0$). Второй законъ, въ его точномъ выраженіи, указываетъ что этотъ уголъ не болѣе $48^0 27'$. Это есть *уголъ-предѣлъ* для воды. Для стекла уголъ-предѣлъ еще менѣе, именно $41^1/_2{}^0$.

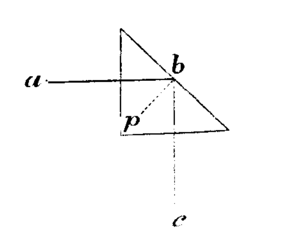
Дѣйствительно изъ формулы $\frac{sin\ i}{sin\ r} = {}^4/_3$, положивъ $i = 90$, получимъ, назвавъ величину угла r въ такомъ случаѣ, то-есть *уголъ-предѣлъ*, буквою ρ:

$$\frac{1}{sin\ \rho} = {}^4/_3 \text{ или } sin\ \rho = {}^3/_4$$

но уголъ синусъ котораго есть $^3/_4$ можно найти въ таблицѣ синусовъ. Онъ есть $48^0\ 27'$. Въ случаѣ стекла, котораго показатель преломленія $^3/_2$, имѣемъ $sin\ \rho = {}^2/_3$ и слѣдовательно $\rho = 41^1/_2{}^0$.

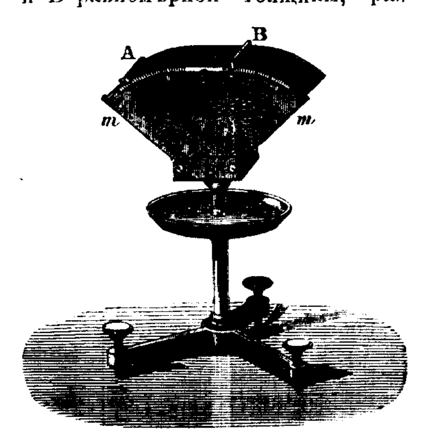
Представимъ себѣ что лучъ, наоборотъ, изъ стекла переходитъ въ воздухъ. Если внутри стекла онъ дѣлаетъ съ перпендикуляромъ паденія уголъ 41°, то выйдетъ въ воздухъ подъ угломъ 80°; если падаетъ подъ угломъ $41^1/_2$, то выйдетъ подъ угломъ 90°, то-есть по самой поверхности жидкости. Спрашивается: что произойдетъ если уголъ паденія внутри стекла будетъ болѣе $41^1/_2$°, напримѣръ, будетъ равенъ 45°? Чтобы получить отвѣтъ обратимся къ опыту. Поставимъ на пути луча кусокъ (фиг. 305) стекла образующій собою уголъ. Такой кусокъ называется *призмой*. Опытъ можно, напримѣръ, расположить по методѣ Декарта указанной въ § 244, фиг. 304. Лучъ, пройдя перпендикулярно чрезъ первую поверхность, падаетъ на вторую, дѣлая внутри стекла уголъ паденія *abp* равный углу призмы. Если уголъ призмы, а слѣдовательно и уголъ паденія менѣе $41^1/_2$°, то лучъ преломится при точкѣ *b* и выйдетъ по направленію *bc*, незначительная же часть его *bd* отразится. Но если уголъ призмы, а слѣдовательно и уголъ паденія равенъ, напримѣръ, 45°, то никакая часть луча уже не выйдетъ изъ призмы: онъ *весь* отразится. Отсюда наименованіе *полное внутреннее* отраженіе. Призма въ этомъ случаѣ дѣйствуетъ какъ весьма совершенное зеркало, отражая болѣе чѣмъ, напримѣръ, поверхность ртути.



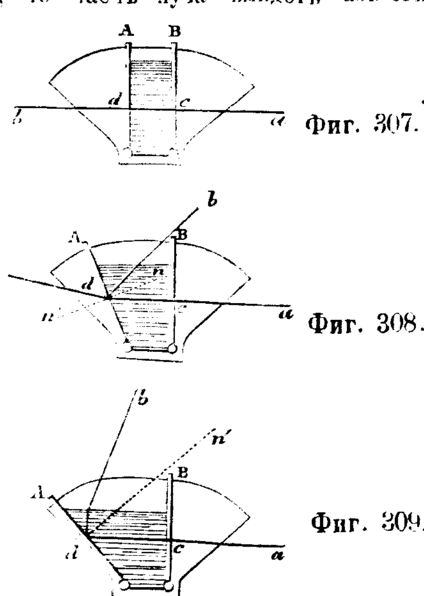


Фиг. 305.

Фиг. 306 представляетъ снарядъ, удобный для показанія начальныхъ опытовъ преломленія и внутренняго отраженія. Стеклянныя стѣнки *A* и *B* равномѣрной толщины, раздвигаясь между металлическими стѣнками *mm*, образуютъ между собою пространство расширенное кверху, которое будучи наполнено водой или иною жидкостью представляетъ собою какъ бы жидкую призму. Если первую стѣнку *B* поставимъ перпендикулярно къ направленію падающаго луча *ac*, то путь луча по выходѣ изъ снаряда будетъ зависѣть отъ положенія второй стѣнки *A*. Если она (фиг. 307) параллельна *B*, то лучъ пройдетъ безъ преломленія; если она наклонна, но такъ что уголъ паденія *cdn* (фиг. 308) менѣе угла-предѣла жидкости, то часть луча выйдетъ изъ стѣнки *B* въ



Фиг. 306.

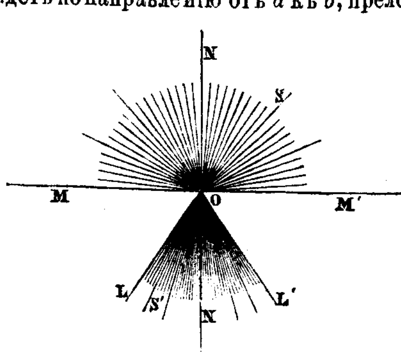


Фиг. 307.

Фиг. 308.

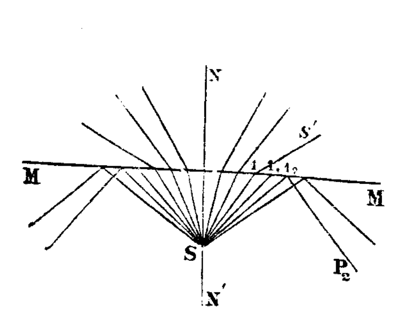
Фиг. 309.

воздухъ, удаляясь отъ перпендикуляра dn', другая часть, слабѣйшая. отразится при d и выйдетъ по направленію отъ d къ b, преломившись при поверхности жидкости. Наконецъ, если стѣнка A будетъ наклонена такъ что (фиг. 309) уголъ adn' болѣе угла-предѣла, то лучъ претерпитъ полное внутреннее отраженіе и никакая часть его не выйдетъ чрезъ стѣнку A. Присутствіе стеклянныхъ стѣнокъ не мѣшаетъ, какъ будетъ доказано ниже, явленію, и оно происходитъ такъ какъ еслибы жидкость непосредственно граничила съ воздухомъ.

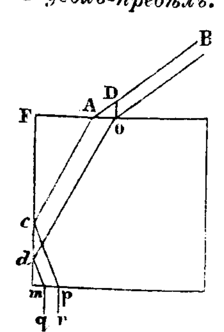


Фиг. 310.

Фиг. 310 и 311 могутъ служить для нагляднаго объясненія угла-предѣла и полнаго внутренняго отраженія. Вся совокупность лучей, которые чрезъ точку O могутъ проникнуть изъ воздуха въ преломляющую среду, и которые въ воздухѣ образуютъ цѣлую полусферу, по преломленіи представляютъ собою конусъ имѣющій (фиг. 310) осью перпендикуляръ ON, а образующею линію OL, то-есть направленіе которому слѣдуетъ по преломленіи лучъ, падающій въ точку O подъ угломъ паденія почти равнымъ 90°. Уголъ LON есть *уголъ-предѣлъ.*



Фиг. 311.



Фиг. 312.

Лучи выходящіе (фиг. 311) изъ точки S помѣщенной внутри преломляющей среды, выходя въ воздухъ, удаляются отъ перпендикуляра SN. Лучъ падающій на поверхность MM при точкѣ означенной цифрою 1, преломившись продолжаетъ путь

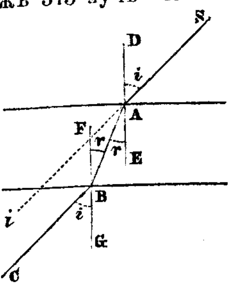
по направленію $1S'$, лучъ падающій при 1_1 выходитъ по самой поверхности MM; лучъ 1_2 уже не выходитъ, а весь отражается къ P_2.

Фиг. 312 изображаетъ опытъ Кеплера „съ тѣломъ бросающимъ тѣнь не отъ солнца, а **къ** солнцу". Do есть небольшое непрозрачное препятствіе, поставленное на прозрачномъ стеклянномъ кубѣ. Солнечные лучи BA и Bo, проходящіе у краевъ тѣла Do, входятъ, преломившись, внутрь стекла, затѣмъ при cd испытываютъ полное внутреннее отраженіе и выходятъ изъ куба при mp, бросая тѣнь qr. Черезъ бокъ F ни одного луча не выходитъ.

§ 246. Преломленіе въ средѣ ограниченной параллельными стѣнками. Выходящій послѣ преломленія лучъ въ этомъ случаѣ параллеленъ падающему, то-есть (фиг. 313) уголъ $i = i'$. Дѣйствительно, такъ какъ углы $EAB = FBA$, то по закону преломленія имѣемъ

$\sin i = n . \sin r$ и $\sin i' = n . \sin r$, а слѣдов. $\sin i = \sin i'$; $i = i'$

На опытѣ, если мы на пути пропущеннаго въ темную комнату пучка солнечныхъ лучей (на чертежѣ 313 лучъ SA можно разсматривать какъ центральный лучъ такого пучка) поставимъ наклонно кусокъ стекла съ параллельными стѣнками, то изображеніе перемѣстится въ сторону (центръ его опредѣлится направленіемъ BC) на величину меньшую чѣмъ толщина стекла, ибо только при паденіи почти параллельномъ съ поверхностію отклоненіе достигло бы величины почти равной толщинѣ стекла. Перемѣщеніе будетъ притомъ одинаково, примемъ ли изображеніе на экранъ близко отъ стекла или далеко отъ него.



Фиг. 313.

§ 247. Преломленіе въ параллельныхъ слояхъ различной преломляемости. Относительный показатель преломленія. Опытъ (какой именно—упомянемъ ниже) свидѣтельствуетъ что и въ томъ случаѣ когда имѣемъ нѣсколько наложенныхъ одинъ на другой слоевъ разной преломляемости, ограниченныхъ параллельными стѣнками, лучъ падающій и выходящій параллельны между собою. Отсюда проистекаетъ очень важное заключеніе о величинѣ такъ-называемаго *относительнаго показателя преломленія*, то-есть показателя преломленія при переходѣ изъ одной преломляющей среды въ другую. Пусть, напримѣръ, на фиг. 314 верхній слой есть вода, нижній—стекло. Найти относительный показатель преломленія изъ воды въ стекло, значитъ найти отношеніе синуса угла r къ синусу угла r'. Назовемъ это отношеніе x. Тогда, если n есть пока-

затель преломленія изъ воздуха въ воду, n' изъ воздуха въ стекло, будемъ имѣть:

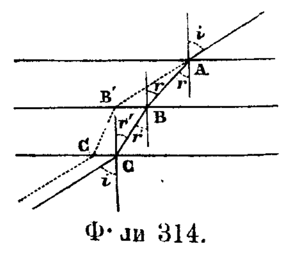
$$\frac{\sin i}{\sin r} = n, \quad \frac{\sin r}{\sin r'} = x, \quad \frac{\sin r'}{\sin i'} = \frac{1}{n'}$$

Перемноживъ соотвѣтствующіе члены, получимъ

$$1 = \frac{nx}{n'}, \text{ откуда } x = \frac{n'}{n}$$

такъ какъ, по свидѣтельству опыта, $i = i'$.

Показатель преломленія при переходѣ изъ среды A въ среду B равняется отношенію показателя преломленія среды B къ показателю преломленія среды A. Показатель преломленія изъ воздуха въ стекло, воду и другія тѣла есть также *относительный показатель*; *абсолютный показатель* относится къ случаю перехода *изъ пустоты* въ эти тѣла. Такъ какъ показатель преломленія воздуха и вообще газовъ мало отличается отъ единицы (въ случаѣ воздуха $= 1{,}00029$), то абсолютные показатели преломленія мало разнятся отъ показателей относительно воздуха.



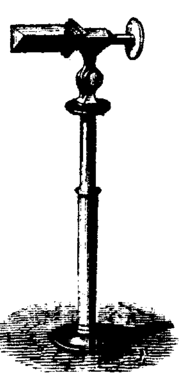
Ф· ли 314.

Свойство слоевъ ограниченныхъ параллельными стѣнками облегчаетъ производство оптическихъ опытовъ съ жидкостями. При прохожденіи луча чрезъ жидкую массу, заключенную въ сосудѣ, стѣнки котораго представляютъ собою стеклянный слой однообразной толщины, явленіе происходитъ такъ, какъ еслибы лучъ прямо входилъ изъ воздуха въ жидкость. Такъ, въ случаѣ призмы изображенной на фиг. 306, — если стеклянныя стѣнки ея правильно отшлифованы, — уголъ отклоненія преломленнаго луча таковъ какъ еслибы между воздухомъ и преломляющею поверхностью жидкости не было слоя стекла. Полное внутреннее отраженіе начинается (фиг. 309) подъ угломъ соотвѣтствующимъ жидкости, хотя съ воздухомъ въ непосредственномъ прикосновеніи находится стекло и при переходѣ изъ жидкости въ стекло лучъ претерпѣваетъ только частное отраженіе *).

*) Если лучъ, пройдя чрезъ жидкость, падаетъ (фиг. 309) на стеклянную стѣнку подъ угломъ i соотвѣтствующимъ углу-предѣлу между жидкостью и воздухомъ, то-есть углу котораго $\sin i = \frac{1}{n}$ гдѣ n показатель жидкости, то назвавъ буквою r уголъ преломленія при вступленіи луча изъ жидкости въ стекло и принявъ вовниманіе что относительный показатель преломленія между водою и стекломъ есть $\frac{n'}{n}$, будемъ имѣть $\sin i =$ $\frac{1}{n} = \frac{n'}{n} \cdot \sin r$. Отсюда $n' \cdot \sin r = 1$ или $\sin r = \frac{1}{n'}$, то-есть на вторую поверхность стекла лучъ упадетъ подъ угломъ-предѣломъ, съ котораго для стекла начинается полное внутреннее отраженіе. Лучъ, слѣдовательно, не выйдетъ въ воздухъ.

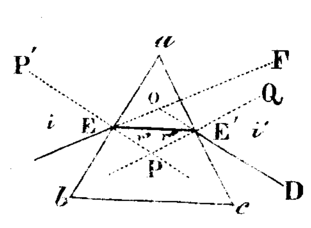
При всякомъ переходѣ луча изъ одной преломляющей среды въ другую, вмѣстѣ съ преломленіемъ, замѣчается отраженіе и разсѣяніе. Это обстоятельство дѣлаетъ видимымъ прозрачное тѣло когда оно погружено въ жидкость не одинаковаго съ нимъ показателя преломленія, какъ, напримѣръ, стекло въ водѣ. Если прозрачное тѣло погружено въ жидкость той же преломляемости какъ оно само, то оно становится невидимымъ. Чѣмъ значительнѣе разность показателей, тѣмъ отраженіе замѣтнѣе. Блескъ алмаза обусловливается тѣмъ что его показатель преломленія имѣетъ значительную величину. Смѣшанныя тѣла, проходя чрезъ которыя лучи многократно переходятъ изъ одной среды въ другую, являются непрозрачными хотя состоятъ изъ смѣси прозрачныхъ веществъ. Таковы облака, пѣна, порошки прозрачныхъ тѣлъ. Непрозрачность и бѣлизна бумаги, состоящей изъ скученія нрозрачныхъ волоконъ, зависятъ главнымъ образомъ отъ той же причины. Если пропитать бумагу масломъ, показатель преломленія котораго близокъ къ показателю преломленія ея фибръ, то она теряетъ бѣлизну вслѣдствіе уменьшенія отраженія и становится полупрозрачною. Вода, смачивая бумагу, также уменьшаетъ ея отраженіе и дѣлаетъ ее болѣе просвѣчивающею. Нѣкоторые минералы скважистаго строенія, непрозрачные когда они сухи, становятся просвѣчивающими, когда смочены.

§ 248. Преломленіе въ призмѣ. Призмою въ оптическомъ смыслѣ именуется прозрачное тѣло, ограниченное двумя непараллельными плоскостями. Фиг. 315 представляетъ твехгранную стеклянную призму. Чтобы прослѣдить путь луча преломляемаго призмою, приемъ плоскость чертежа за плоскость паденія луча; треугольникъ abc (фиг. 316) представитъ пересѣченіе призмы этою плоскостію, которая, по закону преломленія, будетъ содержать въ себѣ лучъ какъ на протяженіи его пути внутри призмы, такъ



Фиг. 315.

и по выходѣ изъ нея. Лучъ претерпитъ два преломленія: одно при точкѣ E, гдѣ вступаетъ въ призму, принимая направленіе EE', *приближающее* его къ перпендикуляру $P'P$; другое при точкѣ E', выходя въ воздухъ и *удаляясь* отъ перпендикуляра QP. Видимъ что по преломленіи въ призмѣ лучъ отклонится отъ первоначальнаго направленія DF, *приближаясь къ основанію, то-есть къ толстому концу призмы.*



Фиг. 316.

Слѣдующія уравненія выражаютъ условія преломленія луча черезъ призму, которой преломляющій уголъ bac назовемъ буквою A; углы же паденія и преломленія буквами i и r при точкѣ E; буквами r' и i' при точкѣ E'. Уголъ отклоненія луча FoD назовемъ буквою Δ.

(1) $\sin i = n \sin r$,

(2) $\sin i' = n . \sin r'$

(3) $A = r + r'$

ибо $A + aEE' + aE'E = 180^0 = aEE' + r + aE'E + r'$, ибо отдѣльно $aEE + r = 90^0$ и $aE'E + r' = 90^0$. Отсюда $A = r + r'$.

(4) $\Delta = i - r + i' - r'$,

ибо $FoD = oEE' + oE'E$, гдѣ $oEE' = i - r$; $oE'E = i' - r'$.

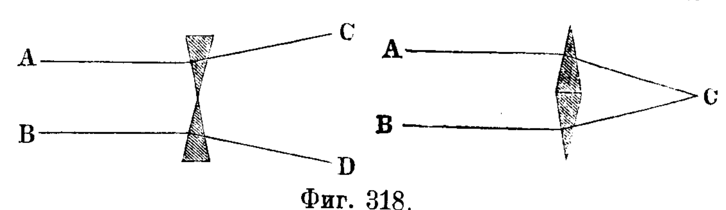
Когда, какъ на чертежѣ $i = i'$, $r = r'$, то уголъ отклоненія имѣетъ *наименьшую* величину (*minimum* отклоненія). Въ этомъ случаѣ точка паденія D преломленнаго луча на экранъ будетъ въ ближайшемъ разстояніи отъ точки F, куда упалъ бы лучъ если-бы не было призмы. Поворачивая призму въ ту или другую сторону, во всякомъ случаѣ замѣтимъ, что D удаляется отъ F. Если притомъ призма равносторонняя ($ab = ac$) то лучъ внутри ея идетъ параллельно съ ея основаніемъ.

Если уголъ призмы малъ, и падающій лучъ вступаетъ въ нее, дѣлая съ перпендикуляромъ паденіяы незначительнй уголъ, то можно принять $i = nr$; $i' = nr'$. Тогда отклоненіе выразится $\Delta = A(n - i)$.

§ 249. Оптическія стекла или линзы.

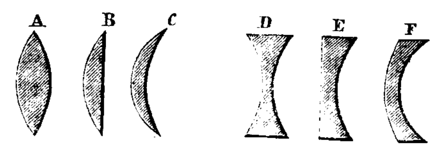
Представимъ себѣ тѣло, составленное (фиг. 317) изъ двухъ призмъ, сложенныхъ основаніями. Лучи проходящіе чрезъ

такое тѣло, отклоняясь къ основаніямъ его призмъ, сближаются между собою. Напротивъ того тѣло



Фиг. 318.

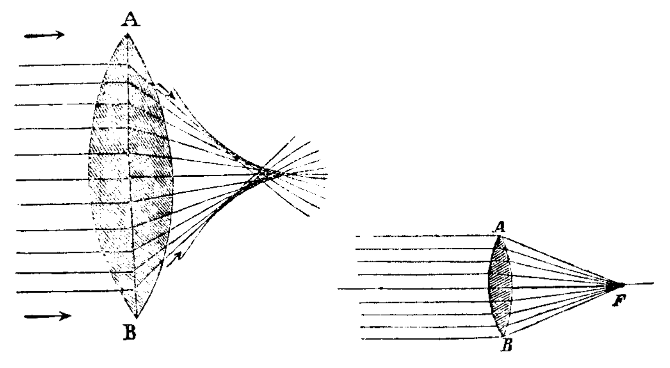
изъ двухъ призмъ, сложенныхъ вершинами (фиг. 318), удаляетъ лучи падающіе на верхнюю его часть отъ падающихъ на нижнюю. Вообще прозрачное тѣло болѣе толстое въ срединѣ чѣмъ къ краямъ должно сближать, болѣе толстое къ краямъ—удалять или разбрасывать падающіе лучи. Прозрачныя тѣла ограниченныя двумя сферическими или одною сферическою, другою плоскою поверхностями, именуются оптическими *стеклами* или *линзами* (чечевицы) и бываютъ *двояковыпуклыя*, *плоско-выпуклыя*, *двояко-вогнутыя*, *плоско-вогнутыя* и *мениски*. Стекла которыя толще къ срединѣ чѣмъ къ краямъ, какъ A, B и C, *собираютъ* лучи; стекла которыя толще къ концамъ какъ D, F, E, *разбрасываютъ* лучи. Первыя именуются *собирающими*, вторыя *разсѣвающими*.



Фиг. 319.

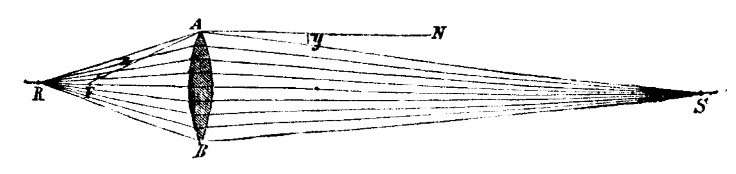
На основаніи законовъ преломленія, можно, принявъ опредѣленный показатель преломленія, сдѣлать точный чертежъ пути лучей проходящихъ чрезъ стекло опредѣленной кривизны, и убѣдиться (фиг. 320) что лучи въ случаѣ, напримѣръ, *собирающаго* стекла

приблизительно сойдутся въ одной точкѣ; при чемъ падающіе ближе къ краямъ представятъ наибольшую *аберрацію* (подобно лучамъ, падающимъ на края зеркала на фиг. 285 въ § 232). Если загородимъ кольцеобразною діафрагмою края стекла, такъ чтобъ оно дѣйствовало лишь центральною своею частію, или



Фиг. 320. Фиг. 321.

если ограничивающія его кривизны составляютъ лишь малыя части сферическихъ поверхностей, то аберраціей, по ея незначительности, можно пренебречь и допустить что лучи собираются стекломъ (фиг. 321) въ одной точкѣ. Подъ этимъ условіемъ мы и будемъ въ нижеслѣдующемъ разсматривать дѣйствіе стеколъ. На фиг. 321 изображены лучи параллельные. На фиг. 322 представленъ путь лучей выходящихъ изъ точки S лежащей на оси и соединяющихся въ точкѣ R, далѣе того мѣста, гдѣ въ F, *главномъ фокусѣ*, собираются параллельные лучи.



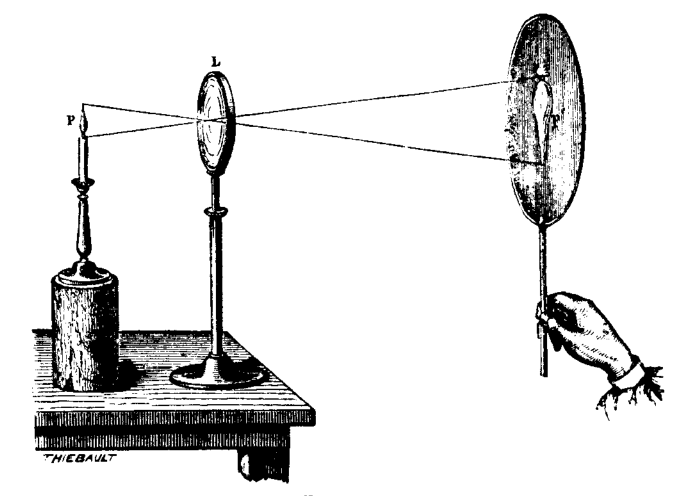
Фиг. 322.

§ 250. Образованіе дѣйствительныхъ изображеній помощію собирающаго стекла. Дѣйствіе собирающаго стекла представляетъ близкую аналогію съ дѣйствіемъ вогнутаго зеркала. Дѣйствительно:

1) Если выставить стекло на солнце такъ чтобы лучи падали параллельно его оси, то за стекломъ получается яркое малое изображеніе солнца опредѣляющее положеніе главнаго фокуса стекла. Въ этомъ мѣстѣ стекло оказываетъ *зажигательное* дѣйствіе. Чѣмъ ближе отъ стекла соединяются лучи, тѣмъ короче его фокусъ и тѣмъ менѣе свѣтлое пятнышко представляющее изображеніе солнца.

2) Если предъ стекломъ на разстояніи равномъ двойному фокусному разстоянію поставятъ свѣчу, то за стекломъ на экранѣ, помѣщенномъ на такомъ же разстояніи получится отчетливое изображеніе свѣчи верхъ ногами, но той же величины какъ самая свѣча.

3) Если придвинемъ свѣчу ближе къ стеклу (фиг. 323) чѣмъ его двойное фокусное разстояніе, то



Фиг. 323.

экранъ надо удалить и на немъ нарисуется обращенное изображеніе свѣчки въ *увеличенномъ* видѣ. Чѣмъ ближе станемъ подвигать свѣчу къ фокусу, тѣмъ далѣе будетъ уходить изображеніе, и тѣмъ далѣе надлежитъ отодвигать экранъ, чтобы принять его въ отчетливомъ видѣ. Если свѣча будетъ въ самомъ фокусѣ, то изображеніе удалится на разстояніе безконечное.

4) Если передвинуть свѣчу далѣе двойнаго фокуснаго разстоянія, то для полученія отчетливаго изображенія экранъ надо придвинуть ближе, обращенное изображеніе получится *уменьшенное* и тѣмъ ближе къ фокусу стекла, чѣмъ далѣе будетъ находиться свѣчка (изображеніе будетъ въ самомъ фокусѣ если свѣтящійся предметъ находится на безконечномъ разстояніи).

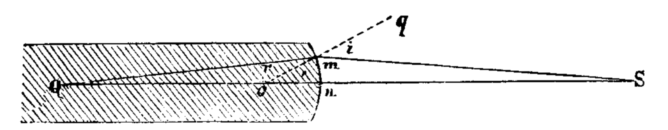
Назовемъ разстояніе предмета отъ стекла буквою d, разстояніе изображенія сзади стекла буквою f, главное фокусное разстояніе буквою F. Измѣряя различныя величины d, то-есть разстоянія свѣчи отъ стекла въ разныхъ случаяхъ и соотвѣтствующія разстоянія f экрана, принимающаго отчетливое ея изображеніе, можемъ убѣдиться, что формула выведенная для вогнутаго зеркала

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$$

имѣетъ приложеніе и къ случаю стекла съ тою разницею что въ случаѣ зеркала величина $\frac{1}{F}=\frac{2}{R}$ зависитъ единственно отъ величины радіуса R, тогда какъ въ случаѣ стекла, какъ увидимъ ниже, $\frac{1}{F}=(n-1)\left(\frac{1}{R'}+\frac{1}{R''}\right)$ зависитъ не только отъ радіусовъ R' и R'' первой и второй поверхности стекла, но и отъ величины показателя преломленія n вещества стекла.

Измѣривъ величину свѣчи и величину ея изображенія въ разныхъ случаяхъ, можно убѣдиться что и здѣсь, какъ въ случаѣ вогнутаго зеркала, величина предмета къ величинѣ изображенія относится какъ d къ f. Центру зеркала тутъ соотвѣтствуетъ средина толщины стекла, такъ называемый *оптическій центръ стекла*, и изображеніе находится въ углѣ образованномъ линіями, проведенными отъ вершины и основанія предмета чрезъ оптическій центръ. Изъ оптическаго центра предметъ и его изображеніе представляются подъ одинаковымъ угломъ.

§ 251. Теоретическій выводъ формулы собирающаго стекла въ случаѣ дѣйствительныхъ изображеній. Лучъ, проходя черезъ стекло, претерпѣваетъ два преломленія, одно при первой, другое при второй его поверхности. Разсмотримъ ихъ отдѣльно. Еслибы стеклянная масса была ограничена одною сферическою поверхностью (фиг. 324), то лучъ изъ точки S, на разстояніи $Sn=d'$



Фиг. 324.

вступивъ при точкѣ m въ стекло, преломившись, принялъ бы путь mQ. Назовемъ радіусъ mo поверхности буквою R', разстояніе отъ n до Q, гдѣ лучъ внутри стекла пересѣкаетъ ось, буквою f. Не трудно найти величину f. Означимъ углы $Smq=i$, $omQ=r$; углы опирающіеся на дугу mn и имѣющіе вершины при точкахъ Q, o, S, этими самыми буквами.

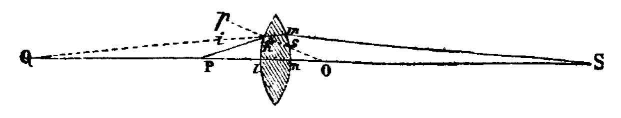
По закону преломленія $i=nr$, но $i=S+o$, $r=o-Q$; слѣдовательно $S+o=n(o-Q)$, или $Q+nQ=(n-1)\,o$.

Замѣнивъ углы дугами, описанными изъ ихъ вершинъ радіусами равными единицѣ, будемъ имѣть, согласно § 234.

$$\frac{mn}{Sn}+\frac{n.mn}{Qn}=\frac{(n-1)\,mn}{on}\ \text{или}\ \frac{1}{d}+\frac{n}{f'}=\frac{n-1}{R'}\ \ldots..(1).$$

Если $d=\infty$, то $f'=F'$, главному фокусному разстоянію. Изъ формулы (1) имѣемъ $\frac{n}{F'}=\frac{n-1}{r}$ или $F'=\frac{n}{n-1}R'$. Для стекла $n={}^3/_2$; слѣдовательно разстояніе главнаго фокуса или точки гдѣ сходятся параллельные лучи будетъ $F'=3R$. Въ случаѣ воды, когда $n={}^4/_3$ $F'=4R$. Это замѣчаніе будетъ для насъ полезно въ теоріи зрѣнія.

Переломленный переднею поверхностью стекла лучъ, который, еслибы не было второй преломляющей поверхности, прямолинейно продолжалъ бы свой путь (фиг. 325) до точки Q, при к



Фиг. 325.

встрѣчаетъ вторую поверхность, центръ которой есть o', и претерпѣвъ новое преломленіе, выходитъ въ воздухъ удаляясь отъ перпендикуляра $o'p$ и встрѣчая ось въ точкѣ P. Назовемъ углы pKP и mko при точкѣ k буквами i' и r'. По закону преломленія имѣемъ $i'=nr'$, гдѣ $i'=o+P$, $r=o+Q$, слѣд. $o+P=n(o+Q)$ или $P-nQ=(n-1)\,o$. Замѣнивъ углы дугами, получимъ

$$\frac{kl}{Pl}-n.\frac{kl}{Ql}=\frac{(n-1).kl}{o'l}.$$

Положимъ $Pl=f$. Разстояніе Ql можно (пренебрегая толщиною стекла, которую предполагаемъ незначительною) считать равнымъ $Qn=f'$; радіусъ $o'l=R''$. Имѣемъ

$$\frac{1}{f}-\frac{n}{f'}=\frac{n-1}{R''}\;\ldots\;(2).$$

Сложивъ формулы (1) и (2), получимъ

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R'}+\frac{1}{R''}\right)\;\ldots\;(3).$$

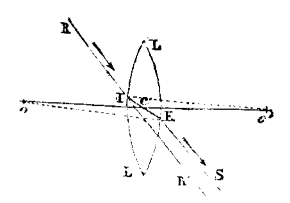
Если $d=\infty$, $f=F$ главному фокусному разстоянію. Имѣемъ

$$\frac{1}{F}=(n-1)\left(\frac{1}{R'}+\frac{1}{R''}\right).$$

Зная, слѣдовательно, показатель преломленія и радіусъ передней и задней поверхности стекла, можно найти фокусное разстояніе F. Формула (3), какъ и въ случаѣ вогнутаго зеркала можетъ быть представлена въ слѣдующемъ видѣ:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}.$$

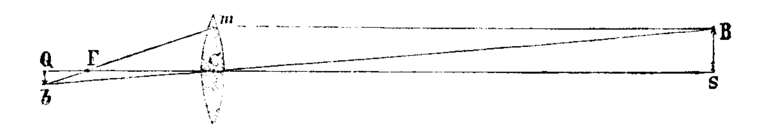
§ 252. Геометрическое построеніе изображенія и разборъ частныхъ случаевъ. Если свѣтящаяся точка находится внѣ оси, то построеніе изображенія основывается, какъ и въ случаѣ вогнутаго зеркала, на проведеніи *побочной оси*. Въ случаѣ стекла, побочная ось есть линія проведенная отъ свѣтящейся точки чрезъ *оптическій центръ стекла*, который,— если передняя и задняя поверхность стекла одинаковой кривизны,—находится въ срединѣ толщины стекла. Лучъ имѣющій такое направленіе, что его преломленная внутри стекла часть IK (фиг. 326) проходитъ чрезъ оптическій центръ c, выходитъ изъ стекла параллельно первоначальному направленію: KS параллельна RI. Дѣйствительно, изъ равенства треугольниковъ ocK и $o'Ic$ (имѣ-



Фиг. 326.

ющихъ стороны $oK=o'i$, какъ радіусы дугъ одинаковой кривизны, $oc=o'c$, ибо каждая изъ нихъ равна радіусу безъ половины толщины стекла, и $Ic=cK$ (по симметріи чертежа), слѣдуетъ что радіусъ oK параллеленъ радіусу $o'I$, а слѣдовательно и элементы сферической поверхности при точкахъ K и I, какъ перпендикулярные къ радіусамъ, параллельны между собою, и стекло въ этихъ точкахъ представляетъ слой ограниченный параллельными стѣнками, а мы знаемъ что въ такомъ случаѣ лучъ преломленный выходитъ параллельно падающему. Такъ какъ толщину стекла предполагаемъ незначительною, то линіи RI и KS можно считать почти совпадающими между собою и допустить что лучъ направленный къ оптическому центру проходитъ чрезъ стенло *не преломляясь*.

Пользуясь сказаннымъ не трудно найти гдѣ пересѣкаются, послѣ преломленія, *два* изъ лучей испускаемыхъ точкою B (фиг. 327), одинъ идущій по направленію побочной оси и другой Bm

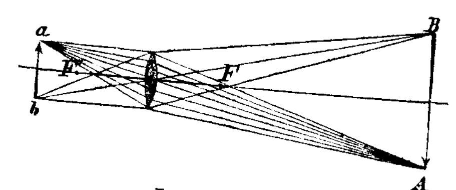


Фиг. 327.

параллельно главной оси. Первый пройдетъ не преломляясь, второй пересѣчетъ главную ось въ главномъ фокусѣ F (какъ точкѣ чрезъ которую проходятъ всѣ параллельные оси лучи). Они пересѣкутся въ точкѣ b. Принимая въ соображеніе что чѣмъ ближе точка B находится къ точкѣ S, тѣмъ ближе точка b должна быть въ точкѣ Q, гдѣ соединяются *всѣ* лучи, выходящіе изъ S, можемъ по аналогіи заключить что въ точкѣ b пересѣкаются не два только упомянутые луча, но и вообще всѣ лучи выходящіе изъ точки B. Точка b есть слѣдовательно изображеніе точки B и находится отъ центра стекла на разстояніи Cb приблизительно равномъ CQ. (Справедливость этихъ допущеній можно оправдать болѣе строгими теоретическими соображеніями, которыя опускаемъ чтобы не осложнять изложенія). Экранъ поставленный перпендикулярно къ оси пересѣкающій ее въ точкѣ Q пересѣчетъ приблизительно всѣ пучки переломленныхъ лучей, соотвѣтствующіе каждый одной изъ точекъ предмета SB, приблизительно въ ихъ вершинахъ (b есть одна изъ такихъ вершинъ) и на экранѣ получится обратное изображеніе предмета SB.

Фиг. 328 даетъ болѣе полное понятіе о ходѣ лучей сопиняемыхъ стеклами, такъ что они даютъ на экранѣ изображеніе предмета. Если BA есть предметъ, то ab его изображеніе. На-

оборотъ, еслибы ab было предметомъ, то BA было бы изображеніемъ. Такъ какъ побочныя оси пересѣкаются въ центрѣ стекла O, то уголъ $BOA = aOB$: изображеніе находится въ



Фиг. 328.

углѣ, образуемомъ линіями, проведенными чрезъ центръ стекла отъ вершины и основанія предмета. Разстояніе изображенія f удовлетворяетъ формулѣ

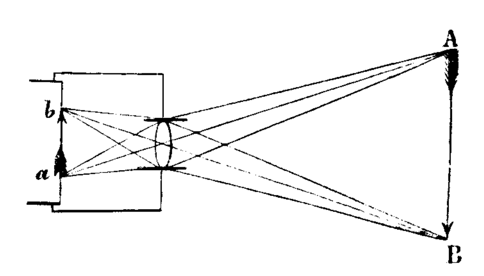
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

Если $d = \infty$, то $f = F$
$d > 2F$, $f < 2F$ и $> F$
$d = 2F$, $f = 2F$
$d < 2F$ но $> F$, $f > 2F$
$d = F$, $f = \infty$

Когда d менѣе F, то на экранѣ нельзя получить изображенія. О явленіяхъ, какія представляетъ стекло въ такомъ случаѣ для глаза смотрящаго чрезъ него, будемъ говорить ниже.

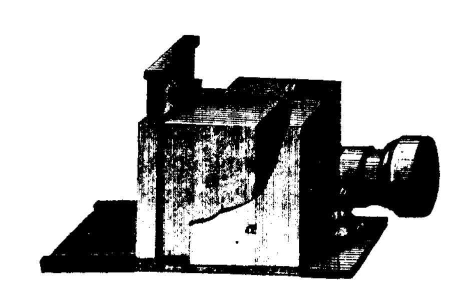
§ 253. Употребленіе собирающаго стекла въ оптическихъ инструментахъ. Камеръ-обскура. Свойствомъ собирающаго стекла давать изображенія на экранѣ пользуются во многихъ оптическихъ инструментахъ, и вопервыхъ въ камеръ-обскурѣ. Въ § 000 было указано, что лучи свѣта, проникая въ темную комнату чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ, рисуютъ на противоположной отверстію стѣнѣ неясное изображеніе внѣшнихъ предметовъ верхъ ногами. Порта указалъ способъ какимъ можно дать отверстію пропускающему лучи въ темную комнату значительную величину и между тѣмъ получить изображеніе несравненно отчетливѣе чѣмъ въ случаѣ малаго отверстія. Изображеніе это будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ отличаться значи-

тельною яркостію вслѣдствіе обилія вошедшаго свѣта. „Возвѣщу, говоритъ онъ, то что доселѣ всегда умалчивалъ и полагалъ что надо бы умолчать. Если вставить въ отверстіе стеклянную чечевицу (выпуклое стекло), то увидишь все гораздо яснѣе: лица людей внѣ идущихъ, цвѣта, одежды, дѣйствія и пр., а если поглядѣть поближе, то представится такое пріятное зрѣлище, на которое всѣ кто видѣлъ не могли довольно надивиться“. Экранъ, принимающій изображеніе, долженъ быть поставленъ на опредѣленномъ разстояніи, чтобы принять пролагаемое стекломъ дѣйствительное изображеніе ab предмета AB (фиг. 329). Фиг. 330 изображаетъ камеръ-обскуру въ



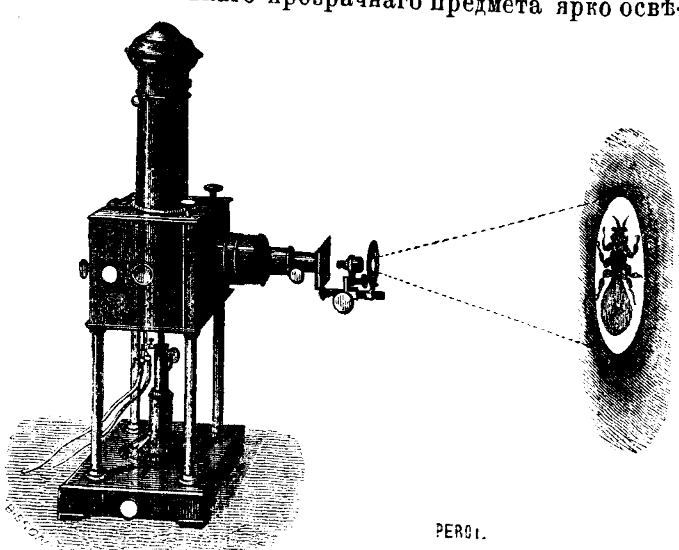
Виг. 329.

томъ видѣ какъ этотъ снарядъ употребляютъ для снятія фотографическихъ изображеній.



Фиг. 330.

§ 254. Солнечный и фотоэлектрическій микроскопъ. Волшебный фонарь. Солнечный и фотоэлектрическій микроскопъ есть также приложеніе свойства собирающаго стекла давать изображенія на экранѣ. Изображеніе маленькаго прозрачнаго предмета ярко освѣ-



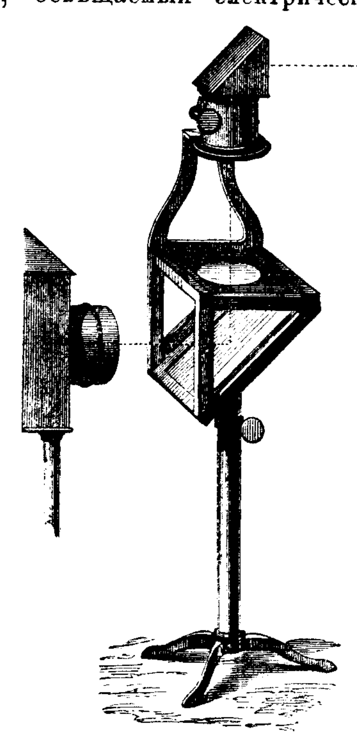
Фиг. 331.

щеннаго солнечными лучами (собственно солнечный микроскопъ) или электрическимъ, или Друмондовымъ свѣтомъ, пролагается на экранъ дѣйствіемъ собирающаго стекла съ короткимъ фокусомъ. Фиг. 331 представляетъ фотоэлектрическій микроскопъ надѣтый на фонарь французскаго оптика Дюбука, служащій для помѣщенія регулятора электрическаго свѣта (о фонарѣ этомъ было уже говорено настр. 305, фиг. 271). Изображеніе представляется въ весьма увеличенномъ видѣ. Если, напримѣръ, фокусное разстояніе стекла равно 4 миллиметрамъ, то на экранѣ, удаленномъ на 4 метра отъ стекла предметъ представится почти въ тысячу разъ болѣе своей дѣйствительной величины.

Сосредоточеніе на предметѣ свѣта солнечнаго или иного достигается помощію особой системы стеколъ.

Волшебный фонарь основывается на томъ же началѣ какъ и солнечный микроскопъ съ тою разницею, что пролагаемые имъ предметы (обыкновенно рисунки на стеклѣ сдѣланные прозрачными красками или прозрачныя фотографіи) значительно болѣе чѣмъ мелкіе предметы пролагаемые микроскопомъ, и потому пролагающее стекло берется съ сравнительно длиннымъ фокуснымъ разстояніемъ (въ нѣсколько центиметровъ).

Фонарь Дюбоска, употребляемый для оптическихъ опытовъ на лекціяхъ есть не что иное какъ волшебный фонарь, освѣщаемый электрическимъ свѣтонъ.



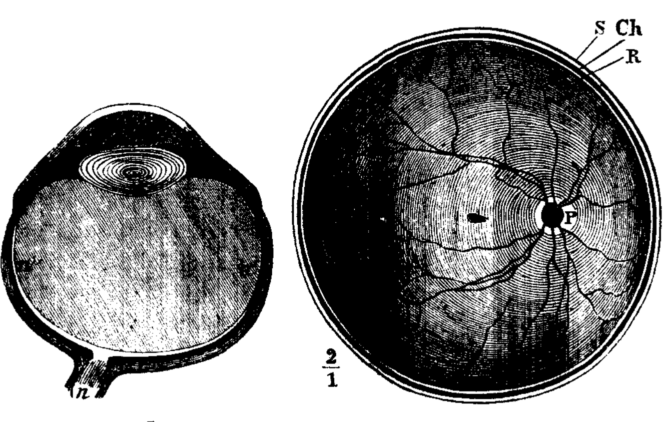
Фиг. 332.

Пролагающее стекло помѣщается обыкновенно на отдѣльномъ штативѣ.

Во многихъ опытахъ неудобно ставить пролагаемые предметы вертикально. Для этихъ случаевъ Дюбоскъ устроилъ снарядъ, изображенный на фиг. 332. Лучи изъ фонаря падаютъ на зеркало подъ угломъ 45° и отражаясь вверхъ освѣщаютъ предметъ лежащій горизонтально. Стекло, еслибы не было поверхъ его отражающей призмы, проложило бы изображеніе на потолокъ. Призма, отражая полнымъ внутреннимъ отраженіемъ лучи въ горизонтальномъ направленіи, переноситъ изображеніе на экранъ.

Глазъ и зрѣніе.

§ 255. Устройство глаза. Глазное яблоко помѣщается во впадинѣ образуемой костями черепа. Въ оптическомъ отношеніи глазъ можно сравнить съ камеръ-обскурою. Деревянному ящику камеръ-обскуры соотвѣтствуетъ оболочка подобно скорлупѣ облагающая глазъ и называемая *склеротикою*. Эта бѣлая, довольно толстая и крѣпкая перепонка, часть которой видима чрезъ отверстіе вѣкъ, именуется *бѣлкомъ*. Подъ склеротикою находится *сосудистая оболочка* (choroidea), которая почти цѣликомъ состоитъ изъ переплетенныхъ кровяныхъ сосудовъ и пропитана черным пигментомъ, вслѣдствіе чего внут-



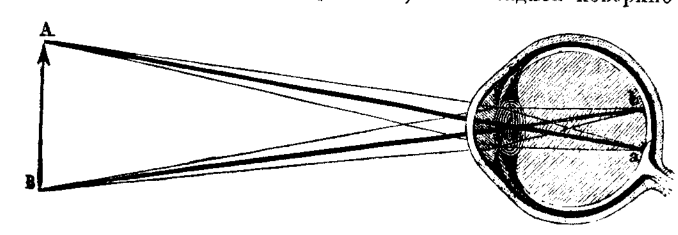
Фиг. 333. Фиг. 334.

ренность глаза представляется вычерненною подобно внутренности камеръ-обскуры. Третья, самая внутренняя оболочка, называемая *ретиною* или *сѣтчатою оболочкою*, есть продолженіе *оптическаго нерва*. Нервъ этотъ (означенный буквою *n* на фиг. 333) входитъ въ глазъ съ его задней стороны, не въ центральной ея части, но нѣсколько ближе къ сторонѣ носа. Проникнувъ въ глазъ, нервъ развѣтвляется по его внутренней поверхности, преобразуясь въ сѣтчатую оболочку, представляющую собою слой весьма сложнаго строенія, въ родѣ мелкой мозаики изъ малѣйшихъ *столбиковъ* и *коникoвъ*, соединенныхъ съ тонкими нервными волокнами. Передняя часть глаза—прозрачная роговая оболочка или *cornea* укрѣпленная къ склеротикѣ представляетъ собою выпуклый сфероидальный слой. За нею встрѣчаемъ *водянистую влагу* и *хрусталикъ*, прозрачное упругое тѣло слоистаго роговаго строенія, покрытое съ передней стороны *радужною перепонкою* (отъ которой зависитъ цвѣтъ глаза) имѣющей въ срединѣ круглое отверстіе *ss'* именуемое *зрачкомъ*. Радужная оболочка обладаетъ въ значительной степени сокращаемостію, и потому зрачокъ можетъ увеличиваться или уменьшаться, оставляя открытой большую или меньшую часть хрусталика. На фиг. 334, изображающей вертикальное сѣченіе и внутреннюю полость глаза, *S* есть склеротика, *Ch* сосудистая оболочка, *R* ретина; *P* мѣсто вхожденія оптическаго нерва. Отъ этого мѣста развѣтвляются кровяные сосуды, видимые на чертежѣ. Около центральной части ретины находится *желтое пятно*, наиболѣе чувствительное для свѣта мѣсто ретины. Въ срединѣ его очень прозрачное углубленное мѣсто—*fovea centralis*, видимое на чертежѣ влѣво отъ точки *P*.

§ 256. Глазъ какъ оптическій инструментъ. Уже Порта сравнивалъ глазъ съ темною комнатой, а зрачокъ съ

„отверстіемъ въ ставнѣ“ чрезъ которое проникаютъ лучи. Но отверстіе зрачка слишкомъ велико чтобы дать внутри глаза ясное изображеніе внѣшнихъ предметовъ Глазъ, какъ сказано, есть подобіе камеръ-обскуры. Лучи, преломляясь въ прозрачныхъ средахъ глаза, даютъ на его задней поверхности маленькое изображеніе верхъ ногами предметовъ находящихся предъ глазомъ, подобное изображенію рисующемуся на матовомъ стеклѣ камеръ-обскуры. Есть, впрочемъ, въ теоретическомъ отношеніи существенное различіе между глазомъ и камеръ-обскурою. Внутренность глаза вся наполнена преломляющею средой, тогда какъ въ камеръ-обскурѣ преломляющее тѣло есть стекло, предъ собою и сзади себя имѣющее воздухъ. Хрусталикъ не имѣетъ такого значенія какъ стекло камеръ-обскуры, ибо погруженъ въ среду, по оптическимъ свойствамъ, не много отличающуюся отъ его собственнаго матеріала. Показатель преломленія водянистой и стекловидной влаги есть 1,337 (почти $^4/_3$, какъ воды), хрусталика въ среднемъ числѣ 1,42. Соединеніе лучей главнымъ образомъ производится дѣйствіемъ передней кривизны глаза. Еслибы показатель преломленія хрусталика вовсе не отличался отъ показателя среды гдѣ онъ находится, то теорія глаза какъ оптическаго инструмента привелась бы къ случаю преломленія въ средѣ ограниченной одною выпуклою поверхностію, который былъ указанъ въ § 251. Мы видѣли что въ такомъ случаѣ соединеніе параллельныхъ лучей, а слѣдовательно и мѣсто изображенія отдаленныхъ предметовъ, въ случаѣ если показатель преломленія есть $^4/_3$, бываетъ на разстояніи отъ вершины равномъ четыремъ радіусамъ передней кривизны. Такъ какъ радіусъ кривизны передней поверхности глаза бываетъ, какъ показали измѣренія, около 8 миллиметровъ, то ясное изображеніе отдаленныхъ предметовъ было бы на разстояніи 32 миллиметровъ отъ вершины глаза. На такомъ разстояніи должна бы находиться ретина чтобы получилось ясное изображеніе предметовъ. Между тѣмъ извѣстно что длина нормальнаго глаза бываетъ около 23 миллиметровъ. Слѣдовательно изображеніе на ретинѣ не могло бы быть яснымъ такъ какъ она на 9 миллиметровъ ближе той плоскости гдѣ въ такомъ случаѣ соединялись бы лучи. Но такъ какъ показатель преломленія хрусталика болѣе показателя окружающей его среды, то лучи преломленные переднею поверхностію глаза и стремящіеся соединиться на разстояніи 32 миллиметровъ сводятся новымъ преломленіемъ въ хрусталикѣ ближе между собою и могутъ соединиться тамъ гдѣ находится ретина.

Принимая въ соображеніе преломленіе въ хрусталикѣ, можно оптическое дѣйствіе глаза среднихъ размѣровъ разсматривать какъ дѣйствіе одной преломляющей поверхности, радіусъ которой равняется приблизительно 5 миллиметрамъ, центръ же находится въ точкѣ k (фиг. 335) близь задней поверхности хрусталика.



Фиг. 335.

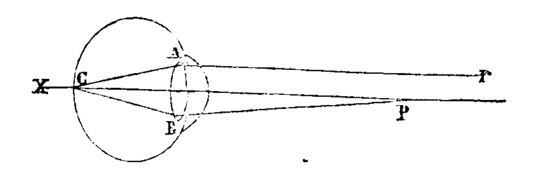
Чтобы построить изображеніе предмета AB на ретинѣ мы должны отъ A и B провести линію чрезъ точку k до ретины въ точкахъ a и b (фиг. 335). Если предметъ находится на очень далекомъ разстояніи, то изображеніе будетъ отчетливое, если ретина находится въ 15 миллиметрахъ отъ центра k. Еслибы мы хотѣли приравнять глазъ стеклу, то фокусное разстояніе этого стекла было бы 15 миллиметровъ. Но изображеніе болѣе близкихъ предметовъ такое стекло дало бы не на томъ разстояніи какъ теоретическій глазъ (предполагаемый неизмѣненнымъ при наблюденіи какъ далекихъ такъ и близкихъ предметовъ). Стеклу замѣняющему глазъ надо бы

было приписать иную кривизну. Теоретическій глазъ нельзя, потому, приравнивать собирающему стеклу, но можно, какъ упомянуто, приравнять одной преломляющей поверхности.

Для доказательства существованія внутри глаза обращеннаго изображенія внѣшнихъ предметовъ, Декартъ бралъ „глазъ человѣка недавно умершаго или свѣжій глазъ быка или иного большаго животнаго; срѣзалъ искусно при днѣ его три оболочки такъ что достаточная часть (стекловидной) влаги оставалась открытою, но влага не разливалась; закрывалъ обнаженное мѣсто какимъ-либо бѣлымъ просвѣчивающимъ тѣломъ, напримѣръ бумагой или яичною скорлупой, и вставлялъ такой глазъ въ отверстіе ставня... такъ чтобы въ комнату лучи могли проникнуть только чрезъ глазъ... Сдѣлавъ такъ, если посмотримъ на бѣлое тѣло, то увидимъ на немъ, не безъ удивленія, можетъ быть, и не безъ удовольствія, рисунокъ представляющій въ перспективѣ внѣшніе предметы... Глазъ при этомъ долженъ сохранять натуральную форму; если нѣсколько сжать его, то рисунокъ будетъ не отчетливъ".

§ 257. **Приспособленіе глаза къ различнымъ разстояніямъ.** Если камеръ-обскура установлена такъ что отдаленные предметы отчетливо рисуются на ея матовомъ стеклѣ, то предметы близкіе изображаются неясно. Подобнымъ образомъ и глазъ не можетъ въ одно и то же время дать на ретинѣ отчетливое изображеніе и отдаленныхъ и близкихъ предметовъ. Что мы не можемъ одновременно видѣть одинаково ясно предметы находящіеся на разномъ разстояніи, въ этомъ можно убѣдиться помощію слѣдующаго опыта. Если держать предъ глазомъ (закрывъ другой) на разстояніи дюймовъ шести кисею или другую прозрачную ткань, а сзади ея футахъ въ двухъ развернутую книгу, то можно, по произволу, видѣть ясно или буквы книги,— и тогда ткань представится предъ ней какъ легкій туманъ,—или нити ткани,—и тогда нельзя разобрать напечатанное. При этомъ чувствуется нѣкоторое напряженіе когда глазъ переходитъ отъ разсматриванія одного изъ этихъ предметовъ къ разсматриванію другаго. Въ камеръ-обскурѣ матовый экранъ удаляютъ отъ стекла чтобы получить ясное изображеніе болѣе близ-

каго предмета. Но глазъ не можетъ ни удлинняться, ни укорачиваться и наружную форму сохраняетъ безъ измѣненія, разсматриваетъ ли онъ отдаленный или близкій предметъ. *Приспособленіе* глаза къ различнымъ разстояніямъ достигается другимъ способомъ, а именно измѣненіемъ формы хрусталика, который не есть твердое тѣло подобное стеклу, а напротивъ, представляетъ собою родъ упругой чечевицы, которую въ обыкновенномъ состояніи окружающія части слегка тянутъ по направленію отъ средины къ краямъ. Какъ скоро растяженіе ослабѣваетъ (а это достигается дѣйствіемъ вокругъ расположеннаго мускула), чечевица становится болѣе выпуклою и именно въ передней своей части. Болѣе выпуклый хрусталикъ сильнѣе преломляетъ свѣтъ, и лучи, которые при менѣе выпуклой поверхности хрусталика соединялись бы дальше ретины, соединяются на ретинѣ. Глазъ становится приспособленнымъ къ наблюденію близкихъ предметовъ. На фиг. 336 глазъ въ верхней половинѣ чертежа изображенъ безъ приспособленія, когда *параллельные* лучи соединяются въ точкѣ



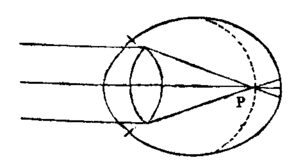
Фиг. 336.

C на ретинѣ. Въ нижней половинѣ хрусталикъ представленъ измѣненнымъ такъ что лучи *расходящіеся* изъ точки P соединяются въ точкѣ C.

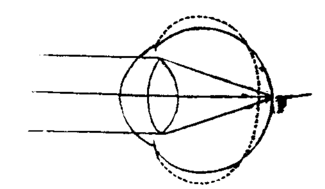
Усиленіе выпуклости хрусталика, когда глазъ приспособляется къ близкимъ разстояніямъ, доказывается наблюденіемъ отраженія лампы въ передней поверхности хрусталика. Отраженное изображеніе, которое, при нѣкоторыхъ предосторож-

ностяхъ, можно усмотрѣть въ изслѣдуемомъ глазѣ, перемѣщается и измѣняется въ величинѣ, когда глазъ наблюдаемаго субъекта, вначалѣ смотрѣвшаго на отдаленный предметъ, приспособляется къ близкому разстоянію.

§ 258. Какъ раздѣляются глаза по отношенію къ разстоянію яснаго зрѣнія. Нормальнымъ или *эмметропическимъ* именуется такой глазъ, который, *безъ приспособленія*, даетъ на ретинѣ ясное изображеніе отдаленныхъ предметовъ, и слѣдовательно соединяетъ на ретинѣ въ одну точку (означенную буквою P на фиг. 338) лучи входящіе въ глазъ цилиндрическимъ пучкомъ (параллельные между собою). Для такого глаза *дальнѣйшая точка яснаго зрѣнія—punctum remotum* находится на далекомъ, говоря математически, на безконечномъ разстояніи. Глазъ, который безъ приспособленія соединяетъ на ретинѣ *расходящіеся* лучи, а параллельные слѣдовательно соединяетъ *до* ретины (фиг. 337) помѣщенной слишкомъ



Фиг. 337.



Фиг. 338.

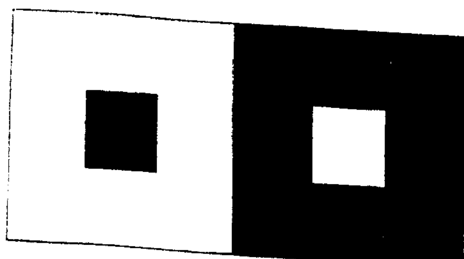
далеко (оттого напримѣръ что глазъ длиннѣе обыкновеннаго) называется *міопическимъ* или *близорукимъ*. Такой глазъ видитъ ясно предметы находящіеся отъ него не въ дальнемъ разстояніи: punctum remotum тѣмъ ближе чѣмъ значительнѣе близорукость. Наконецъ, глазъ который *безъ приспособленія* соединяетъ на ретинѣ только такіе лучи, которые на него падаютъ уже сходящимися, и который потому безъ приспособленія не можетъ дать яснаго изображенія ни далекихъ, ни близкихъ предметовъ называется *гиперметропическимъ* (параллельные лучи онъ соединяетъ *далѣе* ретины, такъ бываетъ если глазъ, напримѣръ, слишкомъ коротокъ; (на фиг 338 подобный случай означенъ пунктиромъ). Глазъ каждаго изъ этихъ разрядовъ можетъ имѣть способность приспособленія въ разной степени. Приспособленіе въ случаѣ эмметропическаго глаза позволяетъ помѣстить на ретинѣ отчетливое изображеніе близкихъ предметовъ, которое иначе было бы дальше ретины. То ближайшее разстояніе на какомъ глазъ, съ помощію приспособленія, можетъ получить ясное изображеніе предметовъ называется *punctum proximum*. Нормальное разстояніе punctum proximum принимается около 20 центиметровъ. Въ случаѣ глаза близорукаго, punctum proximum обы-

кновенно еще ближе къ глазу (это обстоятельство само по себѣ не представляетъ недостатка). Если punctum proximum далѣе 20 центиметровъ, то вообще глазъ называется *дальнозоркимъ*. Такой глазъ не можетъ видѣть ясно близкіе предметы. Это есть недостатокъ приспособленія и потому не можетъ противуполагаться близорукости. Послѣдняя опредѣляется состояніемъ глаза *безъ приспособленія*, дальнозоркость же его состояніемъ при наибольшемъ приспособленіи. Разстояніе между punctum remotum и punctum proximum именуется *шириною приспособленія*. Въ случаѣ гиперметропическаго глаза ясное зрѣніе возможно только съ приспособленіемъ и слѣдовательно всегда съ нѣкоторымъ напряженіемъ зрѣнія.

§ 259. Особенности и недостатки изображенія на ретинѣ. „При сравненіи глаза съ какимъ-либо оптическимъ инструментомъ, говоритъ Гельмгольтцъ, прежде всего поражаетъ его превосходство по отношенію къ *полю зрѣнія* (т.-е. заразъ обозрѣваемому пространству). Каждый глазъ обозрѣваетъ справа налѣво заразъ около 160°, сверху внизъ около 120°; оба озираютъ въ горизонтальномъ направленіи нѣсколько болѣе 180°. Между тѣмъ поле зрѣнія нашихъ инструментовъ вообще очень мало и тѣмъ менѣе чѣмъ значительнѣе увеличеніе. Но должно замѣтить что отъ инструментовъ мы требуемъ полной отчетливости изображенія, тогда какъ отъ изображенія на ретинѣ требуется большая ясность только на маломъ протяженіи занимаемомъ желтымъ пятномъ. Діаметръ средняго углубленія этого пятна (fovea centralis) соотвѣтствуетъ въ полѣ зрѣнія приблизительно одному градусу, т.-е. протяженію какое покрываетъ собою ноготь указательнаго пальца если держать руку предъ собою въ удаленіи. Въ этой малой части поля зрѣнія отчетливость зрѣнія такова, что позволяетъ различить двѣ точки удаленныя одна отъ другой на одну минуту, т.-е. на $^1/_{60}$ долю ширины ногтя въ сказанномъ положеніи. Это разстояніе соотвѣтствуетъ ширинѣ одного коника ретины. Всѣ другія части изображенія на ретинѣ видимы неясно и тѣмъ смутнѣе чѣмъ ближе къ предѣламъ ретины. Такимъ образомъ картину доставляемую глазомъ можно сравнить съ рисункомъ котораго средняя часть очень тонко отдѣлана, а остальныя наоборотъ грубо... Недостатокъ отчетливости боковаго зрѣнія вознаграждается чрезвычайною подвижностію глазъ позволяющею направлять послѣдовательно и весьма быстро взоръ на все интересующее насъ въ полѣ зрѣнія. Въ этой подвижности главное преимущество глаза предъ оптическими инструментами. Столь же скоро какъ движеніе взора вверхъ, внизъ, влѣво, вправо совершается приспособленіе глаза къ разнымъ разстояніямъ. Изображеніе близкихъ и далекихъ предметовъ одновременно не можетъ быть одинаково отчетливымъ на ретинѣ, но послѣдовательно эта отчетливость достигается съ такою быстротою, что большинство людей и не сознаетъ этихъ перемѣнъ".

Самое изображеніе на ретинѣ, которое въ боковыхъ ея ча-
стяхъ ощущалось бы, согласно сказанному, не отчетливо еслибы
даже было совершенно въ оптическомъ отношеніи, па дѣлѣ въ
этомъ отношеніи представляетъ значительные недостатки.

Кромѣ неотчетливости происходящей отъ сферической абер-
раціи, особенно замѣтной въ боковыхъ частяхъ изображенія,
есть еще болѣе рѣзкая неотчетливость, происходящая отъ такъ-
называемаго *астигматизма* глаза, то-есть отъ того обстоятель-
ства, что преломляющія поверхности глаза не суть правильныя
сферическія или эллипсоидальныя, а въ разныхъ своихъ мери-
діанахъ представляютъ разную кривизну. Вслѣдствіе этого
мы не можемъ одновременно видѣть одинаково ясно горизон-
тальную и вертикальную линіи помѣщенныя на томъ же раз-
стояніи (образующія, напримѣръ, крестъ), и изображеніе свѣ-
тящейся точки есть въ строгости цѣлое пятнышко. Пятнышко
это, кромѣ того, неправильно лучеобразно, вслѣдствіе волокни-
стаго строенія хрусталика. Въ этомъ причина почему звѣзды
кажутся намъ не точками, а пятнышками съ лучами. Далѣе,
хрусталикъ и влаги глаза не суть тѣла совершенно прозрач-
ныя, а напротивъ представляютъ собою среды до извѣстной
степени мутныя. Если чрезъ малое отверстіе смотрѣть на ши-
рокую свѣтлую поверхность, напримѣръ на чистое небо, то
не трудно замѣтить въ полѣ зрѣнія многочисленныя точки,
пятнышки, змѣйки, отчасти перемѣщающіяся. Это не иное что
какъ ощущеніе тѣни мелкихъ тѣлъ взвѣшанныхъ въ жидко-
стяхъ глаза, а также волоконъ и пятенъ хрусталика. Мутность
среды одна изъ причинъ неясности изображенія темнаго пред-
мета на яркомъ фонѣ и наоборотъ. Неясность очертаній подоб-
ныхъ изображеній есть главная, должно думать, причина яв-
ленія *иррадіаціи*, состоящаго въ томъ что бѣлый предметъ
на темномъ фонѣ кажется больше темнаго па свѣтломъ фонѣ
(фиг. 339 и 340).



Фиг. 339. Фиг. 340.

§ 260. Слѣпое пятно Маріотта. „Давно любопытствуя узнать,
говоритъ Маріоттъ, происходитъ ли зрѣніе сильнѣе или сла-
бѣе въ томъ мѣстѣ гдѣ входитъ оптическій нервъ, я сдѣлалъ

любопытное наблюденіе какого не ожидалъ. Я зналъ что зрѣ-
ніе происходитъ чрезъ воспріятіе лучей, образующихъ изобра-
женіе на днѣ глаза, и что изображеніе это имѣетъ обращен-
ное положеніе, противуположное положенію представляемаго
имъ предмета. Кромѣ того я часто наблюдалъ, при анатоми-
ческихъ разсѣченіяхъ глаза человѣка и животныхъ, что опти-
ческій нервъ (P на фиг. 335) никогда не соотвѣтствуетъ точ-
но срединѣ дна глаза, то-есть мѣсту гдѣ рисуется изображе-
ніе предметовъ, на которые глазъ прямо смотритъ; и что у
человѣка онъ немного выше и къ сторонѣ носа. Чтобы заста-
вить лучи предмета упасть на оптическій нервъ моего глаза и
испытать что оттого произойдетъ, я прикрѣпилъ на темномъ
фонѣ, приблизительно на высотѣ моихъ глазъ, маленькій кру-
жокъ бѣлой бумаги, долженствовавшій служить неподвижною
точкой зрѣнія и въ то же время велѣлъ другой кружокъ дер-
жать съ боку отъ перваго, вправо на разстояніи около двухъ
футовъ, но нѣсколько пониже, такъ чтобъ изображеніе его
упало на оптическій нервъ моего праваго глаза, когда какъ
лѣвый я зажмурю. Я сталъ противъ перваго кружка и посте-
пенно удалялся, не спуская съ него праваго глаза. Когда я
былъ на разстояніи около девяти футовъ, второй кружокъ
имѣвшій величину около четырехъ дюймовъ *совсѣмъ исчезъ*
изъ поля зрѣнія. Я не могъ приписать это его боковому по-
ложенію, ибо различалъ другіе предметы, находившіеся еще
болѣе съ боку чѣмъ онъ. Я подумалъ бы что его сняли,
еслибы не находилъ его вновь при малѣйшемъ передвиже-
ніи глаза. Но тотчасъ какъ я устремлялъ взоръ на первую
бумажку, эта другая бывшая вправо исчезала; и чтобы замѣ-
тить ее, не передвигая глаза, надо было немного перемѣнить
мѣсто. Я сдѣлалъ тотчасъ же опытъ на другихъ разстояніяхъ
соотвѣтственно удаляя бумажки одну отъ другой или сближая ихъ
между собою. Я повторилъ опытъ съ лѣвымъ глазомъ, закрывъ
правый и перенеся бумажку влѣво отъ точки прямаго зрѣнія.
Соображая положеніе частей глаза нельзя было сомнѣваться
что замѣченный недостатокъ принадлежитъ глазному нерву.
И замѣчательно что когда такимъ образомъ теряется изъ виду
черный кружокъ на бѣломъ фонѣ, то не замѣчается никакой

Фиг. 341.

тѣни или темноты на мѣстѣ гдѣ черная бумажка, но фонъ на
всемъ протяженіи кажется бѣлымъ“. Помощію фиг. 341 не

трудно повторить опытъ Маріотта, закрывъ лѣвый глазъ, правымъ смотря на крестикъ и держа страницу въ разстояніи 2 съ небольшимъ дециметровъ отъ глаза. Явленіе происходитъ отъ того что въ мѣстѣ вхожденія нерва въ глазъ отсутствуютъ элементы ретины по преимуществу чувствительные для свѣта.

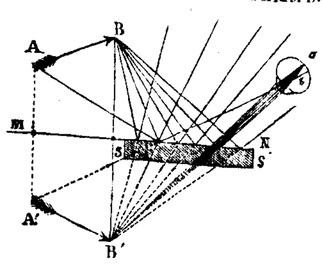
§ 261. Сохраненіе впечатлѣній въ глазѣ. Впечатлѣніе прозводимое на ретину исчезаетъ не тотчасъ; нервъ продолжаетъ ощущать его нѣкоторое время и послѣ того какъ причина произведшая ощущеніе прекратила дѣйствіе. Свѣтъ электрической искры, свѣтъ молніи продолжающіеся весьма малую долю секунды кажутся намъ длящимися весьма замѣтное время, равное времени какое длится наше ощущеніе (напримѣръ $\frac{1}{6}$ или $\frac{1}{5}$ долю секунды). Вслѣдствіе сохраненія впечатлѣній быстро перемѣщающаяся свѣтящаяся точка кажется оставляющею слѣдъ въ пространствѣ (такъ бываетъ, напримѣръ, если кружить раскаленный уголь): точка перемѣстилась, а мы продолжаемъ видѣть ее на прежнемъ мѣстѣ, и при быстромъ перемѣщеніи она заразъ кажется на всѣхъ точкахъ своего пути. Дрожащая бѣлая струна на темномъ фонѣ кажется видимо расширенною. Спицы колеса или черные секторы на бѣломъ кругѣ при быстромъ вращеніи сливаются въ одну, какъ бы покрытую тѣнью поверхность. Но если освѣтимъ ихъ мгновеннымъ свѣтомъ электрической искры, то они сдѣлаются видимы, и колесо или кругъ представятся неподвижными (такъ, при освѣщеніи молніей, кажется неподвижнымъ быстро ѣдущій экипажъ). Вслѣдствіе сохраненія впечатлѣній, мы въ продолженіе $\frac{1}{6}$ или $\frac{1}{5}$ секунды будемъ видѣть ихъ въ томъ состояніи въ какомъ они находятся въ продолженіи, напримѣръ, одной стотысячной или меньшей доли секунды, когда слѣдовательно они успѣли перемѣститься на самый незначительный уголъ: они кажутся неподвижными. Струя воды или иной жидкости, истекающая изъ отверстія въ днѣ сосуда, видимо состоитъ изъ двухъ частей: одной прозрачной, какъ

палочка стекла, у отверстія; другой мутной и неспокойной,—далѣе. При мгновенномъ освѣщеніи искрой можно убѣдиться что эта мутная часть состоитъ изъ отдѣльныхъ, слѣдующихъ одна за другою капелей, которыхъ быстрая послѣдовательность есть причина непрерывности впечатлѣнія. (Составъ струи изъ отдѣльныхъ капель подтверждается еще простымъ опытомъ: пересѣкая струю картономъ; получаемъ на немъ отдѣльныя пятна, а не непрерывную полосу.)

§ 262. Зрѣніе какъ психическій актъ составленія картины внѣшняго міра. Впечатлѣнія доставляемыя глазнымъ нервомъ служатъ матеріаломъ для дѣйствія нашего духа, производящаго то что мы *видимъ* внѣ насъ находящіеся предметы. То обстоятельство, что различныя точки даютъ свои изображенія на разныхъ пунктахъ ретины обусловливаетъ возможность различенія одной точки отъ другой. Сознаніе что эти точки находятся внѣ насъ и расположены въ разныхъ направленіяхъ и на разныхъ разстояніяхъ достигается совокупностію указаній зрѣнія съ указаніями другихъ чувствъ. Увидать предметъ значитъ, путемъ безсознательнаго соображенія, опредѣлить его мѣсто въ общемъ расположеніи предметовъ. Мы научаемся видѣть постепенно, путемъ длиннаго упражненія во младенчествѣ, повѣряя показанія зрѣнія показаніями другихъ чувствъ, въ особенности осязанія. Въ прежнее время было много теорій чтобъ объяснить почему предметы не кажутся намъ вверхъ ногами, хотя они таковыми рисуются на ретинѣ. Ошибочность сужденій объ этомъ предметѣ проистекала отчасти изъ ложнаго представленія будто бы актъ зрѣнія есть какъ бы наблюденіе картинки рисующейся на ретинѣ, подобное наблюденію вообще какого-нибудь рисунка. На самомъ же дѣлѣ мы не разсматриваемъ картинки изображающейся на ретинѣ, а на основаніи впечат-

лѣній испытываемыхъ ретиной составляемъ, руковод ствуясь пріобрѣтеннымъ опытомъ, представленіе о томъ гдѣ находятся въ пространствѣ точки, лучи отъ которыхъ дѣйствуютъ на разныя мѣста ретины. Опытъ научилъ насъ что, дабы найти внѣ насъ предметъ производящій впечатлѣніе на нижнюю часть ретины, мы должны протянуть руку кверху и наоборотъ направить ее внизъ, чтобы найти предметъ дѣйствующій на верхнюю часть ретины. По этой причинѣ мы и не ошибаемся относительно истиннаго расположенія предметовъ. Еслибы было возможно на нѣкоторое время снабдить нашъ глазъ снарядомъ, который представлялъ бы предметы вверхъ ногами, то послѣ нѣкотораго времени мы вѣроятно утратили бы сознаніе обратности изображенія и видѣли бы предметы какъ они есть.

§ 263. Наблюденіе глазомъ оптическихъ изображеній въ плоскомъ зеркалѣ. Изъ § 230 намъ извѣстно что лучи отъ предмета послѣ отраженія отъ плоскаго зеркала идутъ такъ какъ еслибы зеркало было отверстіемъ, сзади котораго стоитъ предметъ геометрически симметричный съ дѣйствительнымъ. Фиг. 342 даетъ понятіе о ходѣ лучей вышедшихъ изъ точекъ A и B и по отраженіи дающихъ внутри глаза изображеніе aq, рисующееся такъ какъ еслибы въ $A'B'$ былъ предметъ прямо доставляющій въ глазъ лучи $A'b$ и Ba. Кажущійся за зеркаломъ образъ $A'B'$ именуется *мнимымъ* или *призрачнымъ* изображеніемъ предмета. Такого рода изображенія не могутъ быть приняты на экранѣ.



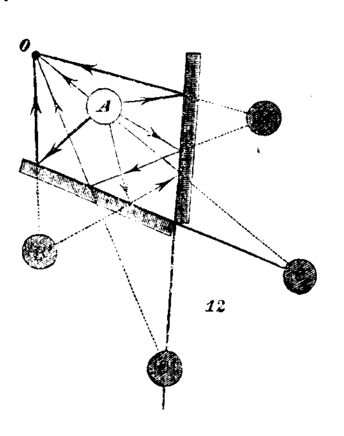
Фиг. 342.

Согласно геометрическому построенію, изображеніе кажется за зеркаломъ на такомъ разстояніи, на какомъ предметъ находится передъ зеркаломъ. Потому, еслибы на мѣстѣ глаза мы поставили собирающее стекло съ экраномъ позади, то экранъ этотъ, дабы получить на немъ ясное изображеніе отдаленныхъ предметовъ отражающихся въ зеркалѣ, надлежало бы поставить въ фокусѣ стекла, то-есть точно такъ какъ еслибы мы пролагали изображеніе самыхъ предметовъ. Отраженный въ плоскомъ зеркалѣ образъ представляетъ предметъ (предполагая его и зеркало стоящими вертикально) въ прямомъ видѣ, но съ перемѣще-

ніемъ сторонъ правой на мѣсто лѣвой и наоборотъ. Оттого наблюдатель и его изображеніе въ зеркалѣ отличаются тѣмъ, что все находящееся у предмета на лѣвой сторонѣ (напримѣръ шпага носимая слѣва) у изображенія будетъ на правой. Художникъ рисующій свой портретъ, пользуясь отраженіемъ въ зеркалѣ, получаетъ рисунокъ не имѣющій надлежащаго сходства съ оригиналомъ. Вслѣдствіе того же перемѣщенія сторонъ, трудно читать печатную страницу, отражая ее въ зеркалѣ, а наборъ легко. Въ горизонтальномъ зеркалѣ вертикальные предметы изображаются вверхъ ногами. Предметы лежащіе горизонтально въ зеркалѣ наклоненномъ подъ угломъ 45° представляются въ вертикальномъ положеніи; лежащій человѣкъ кажется стоящимъ, причемъ обращаетъ на себя вниманіе нѣкоторая неестественность позы; катящійся отъ зеркала шаръ кажется восходящимъ.

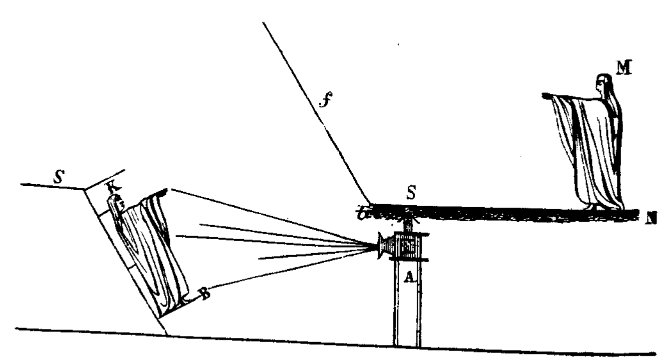
Въ случаѣ двухъ зеркалъ подъ угломъ получается нѣсколько изображеній. Ихъ происхожденіе можно прослѣдить на фиг. 343. Число ихъ зависитъ отъ величины угла. Ихъ будетъ $n-1$ если уголъ составляетъ $^1/_n$ часть окружности.

Прозрачное плоское стекло также даетъ отраженныя изображенія, но они мало замѣтны при обыкновенныхъ условіяхъ, потому что, какъ мы видѣли въ § 231, стеклянная поверхность отражаетъ незначительное количество лучей, вслѣдствіе чего отражающееся въ ней изображеніе имѣетъ весьма слабую яркость и теряется въ массѣ свѣта, проходящаго чрезъ зеркало отъ предметовъ сзади его лежащихъ. Если устранить этотъ проходящій свѣтъ, помѣстивъ стекло предъ темнымъ фономъ, то отраженіе становится весьма замѣтно. Въ случаѣ когда отражаемый предметъ ярко освѣщенъ, его изображеніе въ прозрачномъ стеклѣ становится рѣзко замѣтнымъ даже если за стекломъ находятся освѣщенные предметы. На этомъ основываются такъ-называемые *театральные спектры*. Освѣщенный электрическимъ или вообще яркимъ свѣтомъ предметъ KB (фиг. 344), напримѣръ актеръ одѣтый привидѣніемъ, отражается въ большомъ зеркальномъ стеклѣ и кажется зрителю въ положеніи MN. Въ то же время,—такъ какъ стекло f прозрачно,—



Фиг. 343.

зритель видитъ чрезъ него лица и предметы находящіеся на сценѣ, между которыми и кажется отраженная фигура.



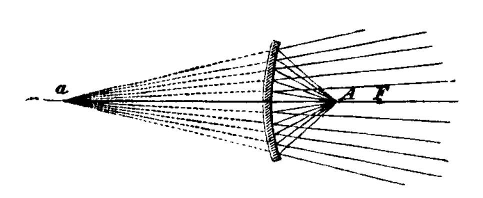
Фиг. 344.

§ 264. Наблюденіе глазомъ дѣйствительныхъ изображеній отъ вогнутаго зеркала. Въ § 234 мы говорили объ изображеніяхъ бросаемыхъ вогнутымъ зеркаломъ на экранъ помѣщенный тамъ гдѣ сходятся въ соотвѣтствующіе фокусы пучки лучей доставляемыхъ различными точками свѣтящагося предмета. Если вмѣсто того чтобы принимать изображеніе на экранѣ, мы помѣстимъ глазъ, на разстояніи яснаго зрѣнія, сзади того мѣста гдѣ рисуется изображеніе, то увидимъ его въ воздухѣ предъ собою. Это такъ-называемое *воздушное изображеніе* предмета.

Обыкновенно впрочемъ мы не даемъ себѣ отчета что изображеніе находится предъ нами на разстояніи яснаго зрѣнія, а полагаемъ его за зеркало и считаемъ стоящимъ за зеркаломъ какъ за отверстіемъ. Но если у того мѣста гдѣ рисуется изображеніе поставить дѣйствительный предметъ; если, напримѣръ, отражая букетъ цвѣтовъ, помѣщенный предъ зеркаломъ и маскированный отъ глазъ, поставить небольшой горшокъ, такъ что изображеніе будетъ находиться прямо надъ нимъ, то изображеніе представится намъ какъ предметъ находящійся въ воздухѣ; цвѣты покажутся выходящими изъ горшка. Перегнувъ карту и поставивъ ее въ центрѣ зеркала ниже оси, такъ что изображеніе загнутой къ зеркалу половины представится вверху на продолженіи дѣйствительной карты, увидимъ,—помѣстивъ глазъ за картою на разстояніи яснаго зрѣнія,—какъ бы цѣлую карту. Если держа кинжалъ остріемъ къ зеркалу нѣсколько далѣе центра, двинемъ его къ зеркалу, то изображеніе, приближаясь къ наблюдателю произведетъ впечатлѣніе кинжала идущаго отъ зеркала. Этотъ опытъ, произве-

денный съ большимъ зеркаломъ Виллета особенно интересовалъ Людовика XIV. Если поставить предъ зеркаломъ стклянку до половины наполненную водою, заткнутую пробкой и опрокинутую горлушкомъ къ низу, то въ ея изображеніи, которое представится горлышкомъ къ верху, вода будетъ казаться наполняющею нижнюю часть стклянки, какъ мы привыкли ее обыкновенно видѣть.

§ 265. Мнимыя изображенія въ вогнутомъ зеркалѣ. Представимъ себѣ что свѣтящаяся точка A (фиг. 345) находится



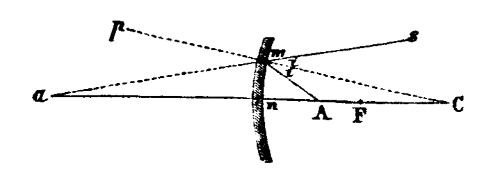
Фиг. 345.

предъ зеркаломъ на его оси, *ближе* чѣмъ его главный фокусъ F. Еслибъ она была въ самомъ фокусѣ, то лучи отразились бы параллельно оси, и отраженный пучокъ можно было бы разсматривать какъ систему лучей, выходящихъ изъ точки, лежащей на оси за зеркаломъ на *безконечно далекомъ* разстояніи. Если же точка A ближе къ зеркалу чѣмъ фокусъ, то лучи образующіе отраженный пучокъ, удаляясь отъ оси, будутъ расходящимися какъ еслибъ выходили изъ нѣкоторой точки a лежащей за зеркаломъ и притомъ тѣмъ *дальше* чѣмъ A ближе къ фокусу F. По мѣрѣ приближенія точки A къ зеркалу, приближается къ зеркалу съ другой стороны и изображеніе a.

Разстояніе f изображенія a отъ зеркала, въ случаѣ если разстояніе точки A отъ зеркала есть d, опредѣляется изъ уравненія

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

Уравненіе это легко вывести, пользуясь пріемомъ § 233 и принимая въ соображеніе, что въ разсматриваемомъ случаѣ углы i, e, A, c, какъ видно на фиг. 346 гдѣ изобра-

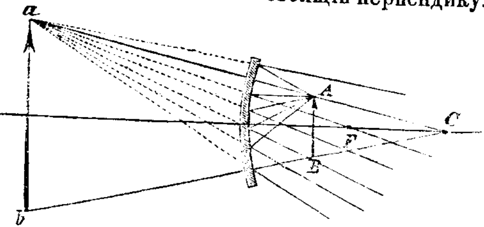


Фиг. 346.

женъ путь одного изъ лучей, выходящихъ изъ точки A и отраженныхъ зеркаломъ, связаны между собою условіемъ

$$i = a + C = A - C \text{ или } A - a = 2C$$

Если предъ зеркаломъ, ближе чѣмъ его фокусъ, находится (фиг. 347) цѣлый предметъ AB стоящій перпендикулярно оси,



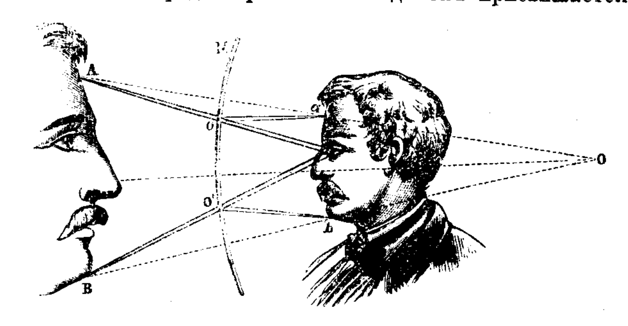
Фиг. 347.

то для каждой его точки A можно найти соотвѣтствующее изображеніе a, проведя побочную CAa и разсуждая относительно ея такъ какъ разсуждаемъ относительно главной оси въ случаѣ точки лежащей на этой послѣдней. Подобнымъ образомъ проведя ось CBb найдемъ точку b, служащую изображеніемъ точки B. Вообще ab будетъ *мнимымъ изображеніемъ* предмета AB. Изъ чертежа видно, что предметъ AB и его мнимое изображеніе находятся въ одномъ углѣ aCb, опредѣленномъ линіями проведенными отъ центра зеркала чрезъ вершину и основаніе предмета. Другими словами: лучи выходящіе изъ предмета, стоящаго предъ вогнутымъ зеркаломъ нѣсколько ближе чѣмъ его фокусъ, по отраженіи принимаютъ такой путь какъ будто бы они выходили изъ нѣкотораго предмета большихъ размѣровъ, стоящаго далеко за отверстіемъ такой величины какъ зеркало. Разстояніе изображенія опредѣляется приведенною выше формулой, его величина угломъ, проведеннымъ изъ центра зеркала.

Изображеніе предмета AB можно, не прибѣгая къ вычисленію, графически построить слѣдующимъ простымъ способомъ. Проведемъ изъ точки A два луча, одинъ проходящій чрезъ центръ зеркала, другой параллельный оси. Первый отразится по тому же направленію какъ пришелъ, второй, по отраженіи, долженъ пройти чрезъ главный фокусъ F. Продолживъ направленіе этихъ двухъ отраженныхъ лучей до пересѣченія найдемъ точку a, которая и будетъ изображеніе точки A. Перпендикуляръ опущенный изъ a на ось и продолженный до пересѣченія съ линіей CB дастъ точку b,—изображеніе точки B. Очевидно ab будетъ изображеніе предмета AB.

Фиг. 348 даетъ понятіе о ходѣ лучей въ случаѣ когда въ вогнутомъ зеркалѣ отражается лицо смотрящаго въ него наблюдателя, находящагося отъ зеркала ближе чѣмъ фокусъ. Наблюдатель видитъ свое изображеніе въ увеличенномъ видѣ

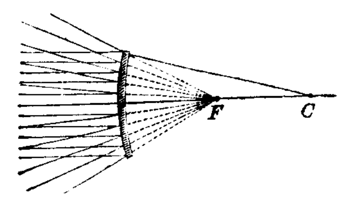
за зеркаломъ на дальнѣйшемъ разстояніи чѣмъ на какомъ самъ находится предъ зеркаломъ. Когда онъ приближается къ



Фиг. 348.

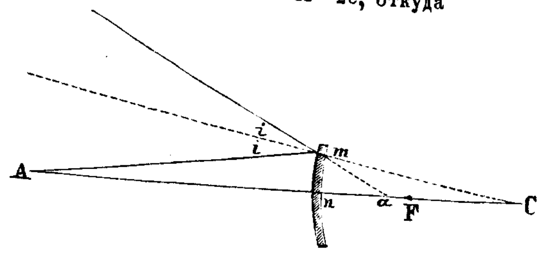
зеркалу, изображеніе также приближается. Если онъ удаляется, то изображеніе быстро уходитъ и переносится на безконечное разстояніе когда лицо наблюдателя удалится на разстояніе фокуса. Когда наблюдатель продолжаетъ удаляться, мнимое изображеніе исчезаетъ, переходя въ дѣйствительное, которое, когда наблюдатель уйдетъ на надлежащее разстояніе, будетъ имъ видимо какъ обратное воздушное изображеніе: наблюдатель увидитъ себя головою внизъ и можетъ убѣдиться что изображеніе рисуется предъ зеркаломъ.

§ 266. Изображенія въ выпукломъ зеркалѣ. Вогнутое зеркало собираетъ лучи, выпуклое ихъ разбрасываетъ. Параллельный оси пучокъ, идущій (фиг. 349) слѣва вправо, по отраженіи, превращается въ пучокъ расходящійся изъ точки F лежащей на половинѣ радіуса зеркала и называемой *главнымъ фокусомъ* зеркала, какъ и въ вогнутомъ зеркалѣ, съ тою разницею что въ разсматриваемомъ случаѣ фокусъ этотъ *мнимый*. Лучи расходящіеся изъ какой-нибудь точки A на оси (одинъ изъ нихъ представленъ на фиг. 350), по отраженіи, представятъ пучокъ расходящійся изъ нѣкоторой точки ближе лежащей къ зеркалу чѣмъ фокусъ F. Точка a должна быть ближе точки F, ибо уголъ паденія луча Am на зеркало больше угла паденія какой образовалъ бы падающій въ той же точкѣ лучъ параллельный оси a; потому отраженный лучъ, уклоняясь далѣе отъ оси, долженъ пересѣчь ее ближе чѣмъ F.



Фиг. 349.

Не трудно найти, по данному разстоянію d точки A отъ зеркала, разстояніе f мнимаго изображенія a этой точки. Имѣемъ $i=A+c$; $i=Cma=a-c$ или $a-A=2c$, откуда

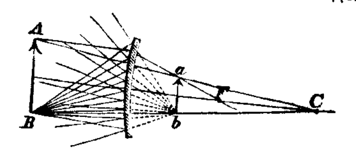


Фиг. 350.

$$\frac{1}{f}-\frac{1}{d}=\frac{2}{R}.$$

Изъ этой формулы, зная d, легко опредѣлить f. При $d=\infty$, $f=F={}^1/_2R$.

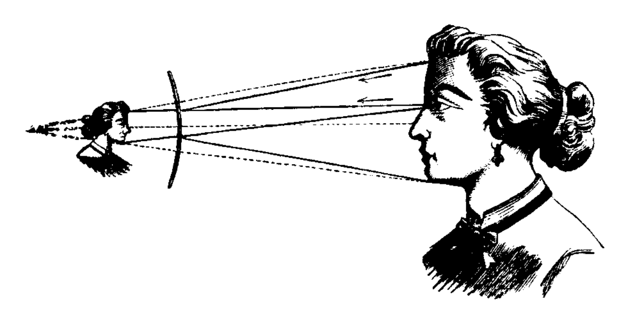
Изображеніе предмета AB (фиг. 351) найдемъ проведя изъ



Фиг. 351.

A два луча, одинъ центральный, падающій перпендикулярно на зеркало и потому отражающійся по тому же направленію какъ пришелъ, и другой параллельный оси, по отраженіи направляющійся такъ что его направленіе, будучи продолжено за зеркало, встрѣтитъ ось въ точкѣ F. Пересѣченіе этихъ двухъ лучей дастъ точку a—изображеніе точки A. Проведя изъ центра C линіи CA и CB найдемъ уголъ, въ которомъ должно помѣщаться все изображеніе предмета AB, которое слѣдовательно и будетъ ab. На той же фиг. 351 можно прослѣдить путь всего пучка лучей, выходящихъ изъ точки B и по отраженіи идущихъ такъ какъ будто бы выходили изъ точки b. Изображеніе ab меньше предмета AB и находится за зеркаломъ ближе половины его радіуса. Фиг. 352 даетъ понятіе о томъ какъ отражается

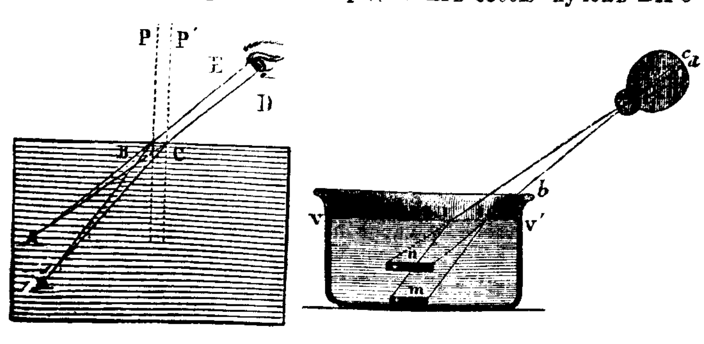
въ выпукломъ зеркалѣ лицо наблюдателя. Вообще выпуклое зеркало дѣйствуетъ такъ какъ еслибъ оно было отверстіемъ



Фиг. 352.

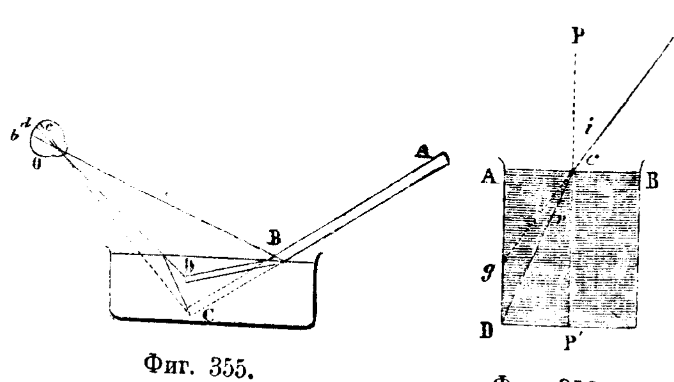
за которымъ, ближе половины его радіуса, стоитъ маленькій предметъ. Близорукій можетъ въ выпукломъ зеркалѣ ясно видѣть отдаленные предметы, ибо они рисуются близко отъ поверхности зеркала. Въ каплѣ ртути, поверхность которой представляетъ собою сильно выпуклое зеркало, можно разсматривать отраженный ландшафтъ даже подъ микроскопомъ. Стеклянный шаръ амальгамированный внутри представляетъ такпримѣръ выпуклаго зеркала.

§ 267. Зрѣніе чрезъ преломляющую поверхность. Представимъ себѣ точку A, помѣщенную (фиг. 353) подъ горизонтальною поверхностью воды или иной прозрачной жидкости. Лучъ AC и сосѣдній съ нимъ AB по преломленіи приметъ направленіе CE и BD, и такъ какъ уголъ PBE менѣе угла $P'CD$, то лучи эти будутъ расходиться, имѣя пересѣченіе въ точкѣ A'. Вообще пучокъ BAC по преломленіи представитъ собою пучокъ $BA'C$



Фиг. 353. Фиг. 354.

какъ бы **выходящій изъ точки** A' *выше* **лежащей чѣмъ точка** A. Глазъ принимающій этотъ пучокъ увидитъ слѣдовательно въ A' изображеніе предмета лежащаго въ A. Изображеніе будетъ мнимое. Такъ, монета, помѣщенная на днѣ сосуда, кажется (фиг. 354) выше своего мѣста; самое дно представляется выгнутымъ. Палка опущенная концемъ въ воду представляется (фиг. 355) переломленною, ибо конецъ C, вслѣдствіе преломленія, кажется въ D.



Фиг. 355.

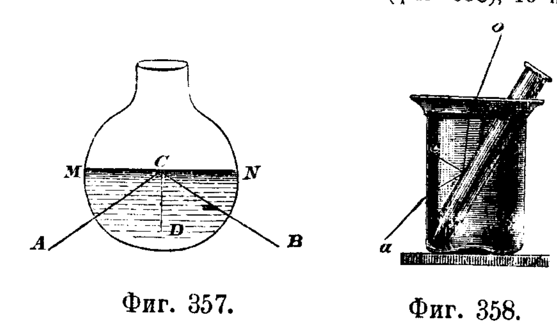
Фиг. 356.

Снеллій, по свидѣтельству Гюгенса, самый законъ преломленія вывелъ, наблюдая кажущееся повышеніе предмета находящагося подъ водою. Пусть AB (фиг. 356) есть сосудъ; если въ немъ нѣтъ воды, то глазъ, смотря по направленію Sc, увидитъ точку g вертикальной стѣнки AD. Можно измѣрить разстояніе cg. Нальемъ воды до уровня AB. Смотря опять по направленію Sc, глазъ увидитъ въ этомъ направленіи уже не точку g, а какую-нибудь точку D ниже лежащую. Разстояніе CD можетъ быть также легко измѣрено. Опытъ показалъ что cD относится къ cg какъ 4 къ 3, и что такое отношеніе имѣетъ мѣсто при всякомъ углѣ паденія i. „Но cD относится *) къ cg какъ синусъ угла cgD равный синусу угла $Agc = i$ (уголъ паденія) къ синусу угла $gDc = r$ (уголъ преломленія). Слѣдовательно, синусъ угла паденія къ синусу угла преломленія находится въ постоянномъ отношеніи. Впрочемъ Снеллій не думалъ объ отношеніи синусовъ и полагалъ что въ этомъ опытѣ дѣло идетъ исключительно о кажущемся мѣстѣ видимой точки, такъ что даже при перпендикулярномъ паденіи усматривалъ дѣйствіе преломленія и укороченія луча“. Декартъ, не упоминая объ опытахъ Снеллія, которые можетъ быть и не были ему извѣстны, выразилъ законъ преломленія въ нынѣ употребляемой формѣ.

*) Изъ треугольника gcD по теоремѣ: стороны относятся какъ синусы противуположныхъ угловъ.

§ 268. Нѣсколько случаевъ полнаго внутренняго отраженія наблюдаемыхъ глазомъ. Въ случаѣ если уголъ ACD (фиг. 357) болѣе предѣла преломленія, лучъ AC при поверхности воды въ сосудѣ претерпитъ полное отраженіе, и глазъ помѣщенный въ B увидитъ предметы находящіеся при A отраженными въ нижней сторонѣ поверхности MN какъ въ весьма совершенномъ зеркалѣ.

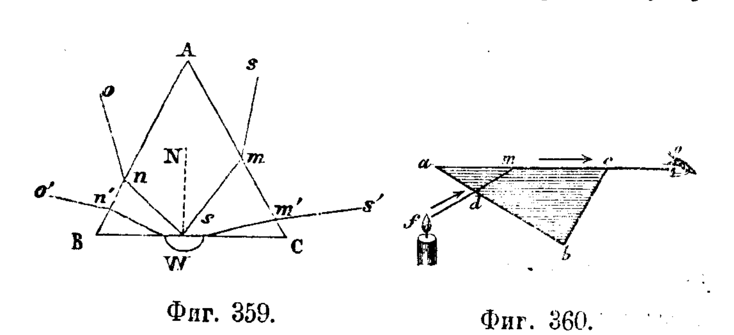
Если опустить въ сосудъ съ водою запаяннымъ концомъ трубку и смотрѣть на нее отъ точки o (фиг. 358), то поверхность ея представится, вслѣдствіе полнаго отраженія, ярко зеркальною, какъ будто бы трубка была наполнена ртутью. Если налить въ трубку воды то явленіе исчезаетъ.



Фиг. 357.

Фиг. 358.

Помѣщая глазъ надъ стороною BC (фиг. 359) призмы, наблюдатель получаетъ лучи, отраженные отъ поверхности BC и если уголъ паденія msN луча превышаетъ предѣлъ преломленія, то сторона BC будетъ играть роль зеркала ярко отражающаго предметы находящіеся при S. Но если при s помѣстить каплю воды W, то полное отраженіе прекратится, и капля будетъ замѣтна вслѣдствіе лучей нашедшихъ доступъ снизу при



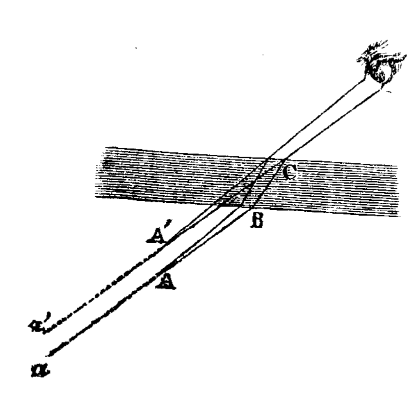
Фиг. 359.

Фиг. 360.

точкѣ s въ призму. Но опустивъ глазъ ниже, напримѣръ въ o', достигнемъ момента когда капля исчезнетъ вслѣдствіе наступившаго полнаго отраженія въ мѣстѣ прикосновенія воды и стекла. Моментъ этотъ наступитъ позже, если вмѣсто воды взять (болѣе чѣмъ вода преломляющую) каплю чернилъ. Когда чернила высохнутъ и при s отложится сухой слой, содержащій металлическія частицы, то полнаго отраженія нельзя совсѣмъ будетъ достигнуть, и пятно останется видимымъ при всякомъ положеніи глаза.

Наступленіе момента перехода отъ преломленія къ полному внутреннему отраженію удобно можно наблюдать покрывъ стороны ab и bc призмы (фиг. 360) черною бумагой и оставивъ при d небольшое отверстіе. Помѣщаютъ призму такъ чтобы глазъ получилъ выходящій лучъ по направленію непокрытой стороны ac. Лучъ идущій по самой поверхности имѣетъ особенную яркость.

§ 269. Зрѣніе чрезъ слой ограниченный параллельными стѣнками. Изъ § 246 намъ извѣстно что лучъ, по преломленіи въ слоѣ однообразной толщины, выходитъ параллельно начальному направленію. Построивъ на основаніи этого начала путь узкаго пучка лучей выходящихъ изъ точки A и достигающихъ глаза (фиг. 361), убѣдимся что пучокъ будетъ имѣть



Фиг. 361.

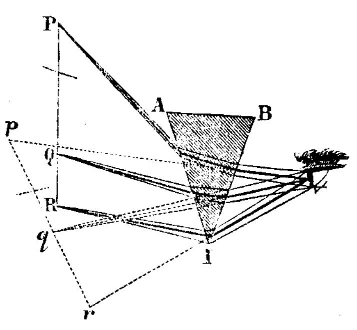
такое направленіе какъ еслибъ онъ выходилъ изъ точки A', отстоящей отъ A менѣе чѣмъ на толщину слоя. Другими словами, предметъ видимый чрезъ слой съ параллельными стѣнками кажется передвинутымъ въ сторону отъ своего настоящаго мѣста на разстояніе меньшее толщины слоя. Уклоненіе это тѣмъ незначительнѣе чѣмъ менѣе слой наклоненъ къ линіи соединяющей глазъ съ предметомъ; уклоненія нѣтъ когда слой къ этой линіи перпендикуляренъ, когда слѣдовательно центральный лучъ пучка проходитъ безъ преломленія. Далѣе, не трудно видѣть что оптическое перемѣщеніе предмета не зависитъ отъ разстоянія на какомъ онъ находится, и будетъ ли точка A близко отъ слоя или далеко отъ него, разстояніе изображенія A' отъ предмета A всегда менѣе толщины слоя; менѣе, напримѣръ, дюйма если слой имѣетъ такую толщину. Потому перемѣщеніе это замѣтно для глаза только если наблюдаемый предметъ находится близко. Такъ, если чрезъ стеклянную дощечку, поставивъ ее наклонно къ лучу зрѣнія, смотрѣть на вертикальную линію, то, если линія близко, часть ея видимая чрезъ стекло покажется отклоненною сравнительно съ частями видимыми прямо, но если линія эта далеко, стекло не произведетъ замѣтнаго уклоненія. Оконныя стекла представляютъ предметы на своихъ мѣстахъ.

Доказательство что лучъ по преломленіи въ слоѣ съ параллельными стѣнками выходитъ параллельно начальному направленію основывается (§ 246) на допущеніи что показатель преломленія при выходѣ изъ слоя въ воздухъ есть $^1/_n$. Можно наоборотъ начать размышленіе съ того факта, что отдаленный предметъ не перемѣщается замѣтно, когда смотрѣть на него чрезъ слой съ параллельными стѣнками. Фактъ этотъ прямо свидѣтельствуетъ о параллельности выходящаго луча съ падающимъ, а отсюда, какъ слѣдствіе, выходитъ что показатель при переходѣ изъ среды въ воздухъ долженъ быть $= {}^1/_n$.

Если имѣемъ нѣсколько слоевъ разной преломляемости, но съ параллельными стѣнками, то и въ такомъ случаѣ отдаленный предметъ не перемѣщается замѣтно. Этотъ опытъ имѣетъ важное значеніе, ибо изъ него слѣдуетъ что и въ этомъ случаѣ лучъ выходящій параллеленъ падающему,—положеніе на которомъ, какъ мы видѣли въ § 247, основывается выводъ *относительнаго показателя* преломленія луча, при переходѣ изъ одной преломляющей среды въ другую.

§ 270. Зрѣніе чрезъ призму. Въ § 248 мы видѣли что призма отклоняетъ проходящій чрезъ нее лучъ къ основанію, то-есть къ своему болѣе толстому концу. Потому если, какъ на фиг. 362, глазъ наблюдаетъ предметъ PR чрезъ призму поставленную угломъ внизъ, то пучки лучей, приходящіе въ глазъ отъ разныхъ точекъ предмета направляются такъ, какъ еслибы выходили отъ предмета pr лежащаго *ниже* дѣйствительнаго

предмета *PR*. Такимъ образомъ предметы видимые чрезъ призму кажутся перемѣщенными къ ея вершинѣ. При этомъ видимая величина предмета по направленію длины (то-есть по направленію отъ основанія къ ребру призмы) нѣсколько измѣняется. Части ниже точки имѣющей наименьшее отклоненіе, нѣсколько расширяются въ размѣрахъ, выше нѣсколько сокращаются (это удобно замѣтить избравъ предметомъ наблюденія страницу книги). Поперечные размѣры остаются безъ перемѣны. Кромѣ того въ продольномъ направленіи всѣ границы между темными и свѣтлыми частями представляются въ видѣ радужныхъ коймъ. О происхожденіи этихъ коймъ будемъ говорить ниже.



Фиг. 362.

§ **271. Зрѣніе чрезъ собирающее стекло. Наблюденіе дѣйствительныхъ изображеній.** Мы знаемъ что собирающее стекло даетъ у своего фокуса обратное изображеніе отдаленныхъ предметовъ, которое можетъ быть принято на экранъ (§ 250). Такъ если поставимъ стекло на нѣкоторомъ разстояніи отъ окна въ комнатѣ, которой другія окна прикрыты, и сзади стекла помѣстимъ въ надлежащемъ разстояніи экранъ, то изображеніе окна нарисуется на экранѣ. Поставимъ глазъ сзади экрана (предполагая его просвѣчивающимъ) на разстояніи яснаго зрѣнія и будемъ разсматривать изображеніе. Опытъ показываетъ что мы будемъ продолжать видѣть изображеніе если и удалимъ экранъ. Изображеніе рисуется въ воздухѣ: *воздушное изображеніе* (какъ въ случаѣ вогнутаго зеркала). Обыкновенно, впрочемъ, и въ этомъ случаѣ мы не даемъ себѣ отчета что изображеніе находится предъ стекломъ, а представляемъ его себѣ за стекломъ какъ за отверстіемъ.

Послѣднее обстоятельство имѣетъ вліяніе на невольное су-

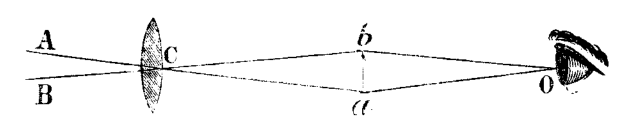
жденіе о величинѣ наблюдаемаго изображенія. Когда экранъ снять, то изображеніе кажется намъ *значительно больше* чѣмъ какимъ казалось когда рисовалось на экранѣ. Между тѣмъ рисунокъ на ретинѣ остается той же величины въ обоихъ случаяхъ. Дѣло въ томъ, что когда изображеніе рисуется на экранѣ, мы представляемъ его себѣ близко отъ глаза—тамъ, гдѣ стоитъ экранъ. Но когда мы наблюдаемъ воздушное изображеніе, то не имѣемъ данныхъ для опредѣленія его разстоянія и, естественно, воображаемъ его не предъ стекломъ, а сзади стекла, представляющагося намъ какъ отверстіе, чрезъ которое мы смотримъ. А такъ какъ предметъ болѣе удаленный долженъ быть,—чтобы дать на ретинѣ изображеніе одинаковой величины,—болѣе близкаго, то мы и считаемъ изображеніе окна, представляющееся глазу безъ экрана, большимъ чѣмъ въ томъ случаѣ, когда оно рисуется на экранѣ и когда мы сознаемъ его близость и присутствіе *передъ* стекломъ, а не гдѣ-нибудь вдали *за* стекломъ. Почти излишне говорить, что точно такое же явленіе можно наблюдать съ вогнутымъ зеркаломъ. Явленіе тѣмъ рѣзче, чѣмъ глазъ ближе къ мѣсту изображенія. Опытъ удобно производить со стекломъ изъ числа тѣхъ, какія употребляются для оптическихъ приложеній при опытахъ съ электрическимъ фонаремъ Дюбоска *).

---

*) Вообще при опредѣленіи *кажущейся* величины предмета мы руководствуемся не только *угломъ зрѣнія*, подъ какимъ онъ представляется,—то-есть угломъ образуемымъ линіями проведенными изъ оптическаго центра глаза къ вершинѣ и основанію предмета,—но и тѣмъ на какомъ разстояніи воображаемъ видимое.

Любопытный примѣръ обманчиваго сужденія о величинѣ предмета представляетъ луна какъ она кажется при горизонтѣ и ближе къ зениту. При горизонтѣ она кажется большимъ свѣтлымъ шаромъ; шаръ этотъ замѣтно сокращается въ размѣрахъ по мѣрѣ приближенія къ зениту, несмотря на то что изображеніе луны рисующееся на ретинѣ когда она при горизонтѣ даже меньше чѣмъ когда она ближе къ зениту. Явленіе находится въ ближайшей связи съ зрѣлищемъ всего небеснаго свода, который кажется намъ не сферическимъ, а значительно сплюснутымъ, вслѣдствіе чего части свода, соотвѣтствующія тому же углу зрѣнія, при горизонтѣ кажутся значительно больше чѣмъ при зенитѣ. Наконецъ въ оцѣнкѣ кажущейся величины иногда руководитъ сравненіе. Мущина въ женскомъ платьѣ кажется высокою женщиной, женщина въ мужскомъ костюмѣ кажется малаго роста. Средній ростъ мущины болѣе средняго роста женщины. Видя мущину одѣтаго въ женское платье, мы невольно сравниваемъ его ростъ съ ростомъ женщинъ, а между женщинами существо такого роста, какъ даже невысокій мущина, не будетъ въ числѣ низкорослыхъ. Наоборотъ, въ средѣ мущинъ, существо средняго женскаго роста станетъ въ рядъ мальчиковъ.

Сравнимъ *уголъ зрѣнія* подъ какимъ представляется воздушное изображеніе съ угломъ зрѣнія подъ какимъ самый предметъ представляется простому глазу. Первый уголъ есть



Фиг. 363.

aOb. Уголъ подъ которымъ глазъ, съ того мѣста гдѣ находится, видѣлъ бы прямо предметъ, еслибы стекла не было, можно считать равнымъ углу ACB (образованному линіями проведенными отъ центра стекла къ вершинѣ и основанію предмета), такъ какъ предметъ находится далеко и потому точки C и O можно считать почти на равномъ отъ него разстояніи. Но уголъ $ACB = aCb$ имѣетъ своею мѣрою (§ 233 фиг., 289) дугу описанную изъ C радіусомъ равнымъ единицѣ и величина которой есть $\frac{ab}{aC}$. Мѣра угла aOb есть $\frac{ab}{aO}$. Слѣдовательно отношеніе этихъ угловъ, то-есть число выражающее во сколько разъ уголъ aOb подъ которымъ мы видимъ изображеніе болѣе или менѣе угла ACB, подъ которымъ видимъ предметъ прямо глазомъ, и называемое *увеличеніемъ*, будетъ

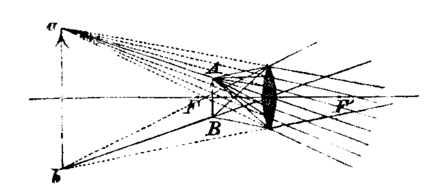
$$aOb : ACB = \frac{ab}{aO} : \frac{ab}{aC} = aC : aO$$

Но aC можно принять равнымъ фокусному разстоянію стекла, Oa есть разстояніе яснаго зрѣнія. Слѣдовательно *увеличеніе* G, при наблюденіи вмѣсто предмета его дѣйствительнаго оптическаго изображенія, есть $G = \frac{F}{\Delta}$, гдѣ F фокусное разстояніе стекла, Δ разстояніе яснаго зрѣнія или вообще разстояніе глаза отъ изображенія. Если $F < \Delta$, то G есть дробь, и слѣдовательно изображеніе представится въ уменьшенномъ видѣ сравнительно съ предметомъ. Заразъ обозрѣваемое чрезъ стекло пространство или *поле зрѣнія* въ этомъ случаѣ болѣе чѣмъ еслибы вмѣсто стекла было предъ нами отверстіе. Оно меньше если стекло дѣйствуетъ увеличительно.

Если помѣстимъ глазъ ближе къ изображенію чѣмъ разстояніе яснаго зрѣнія, то уголъ зрѣнія увеличится, но ясность утратится, такъ какъ рисунокъ на ретинѣ будетъ неотчетливъ. Онъ былъ бы отчетливъ еслибы можно было увеличить преломляющую силу глаза и тѣмъ укоротить разстояніе яснаго зрѣнія. Этого можно достичь если поставить передъ глазомъ еще собирающее стекло. На этомъ основывается теорія зрительной трубки какъ увидимъ ниже.

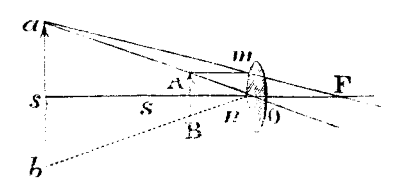
Если, наконецъ, поставимъ глазъ ближе къ стеклу чѣмъ самое изображеніе ab, то лучи будутъ вступать въ глазъ сходящимися, и слѣдовательно зрѣніе будетъ не ясное. Въ моментъ прохожденія чрезъ самый фокусъ глазъ совсѣмъ не различаетъ очертаній предмета, и въ случаѣ, напримѣръ, свѣчи все отверстіе стекла представляется равномѣрно ярко освѣщеннымъ. Чтобы возстановить ясность зрѣнія въ сходящихся лучахъ, надо непосредственно предъ глазомъ поставить разсѣвающее стекло. Въ этомъ основаніе теоріи театральной или Галилеевой трубки.

§ 272. Употребленіе собирающаго стекла въ качествѣ увеличительнаго. Лупа и простой микроскопъ. Пусть предъ стекломъ *ближе* чѣмъ его главное фокусное разстояніе находится предметъ AB (фиг. 364). Прове-



Фиг. 364.

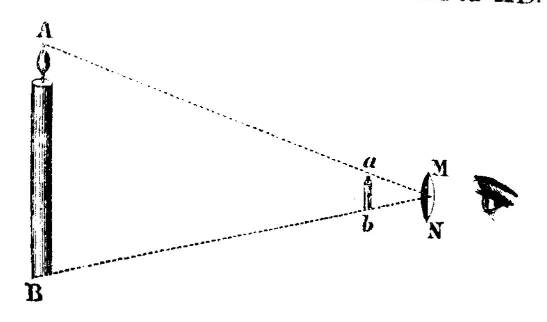
демъ отъ точки A два луча, которые для ясности чертежа изобразимъ на отдѣльной фигурѣ (фиг. 365),—одинъ



Фиг. 365.

параллельный оси, другой направленный къ оптическому центру стекла. Послѣдній пройдетъ не преломляясь; первый же, по преломленіи, направится къ фокусу F; точка пересѣченія этихъ лучей a будетъ мнимымъ изображеніемъ точки A. Лучи вышедшіе изъ

точки A по преломленіи примутъ такой путь какъ еслибы выходили изъ точки a далѣе отстоящей отъ стекла чѣмъ точка A. Вообще ab будетъ изображеніемъ AB и зрѣлище будетъ таково какъ еслибы, вмѣсто стекла, было отверстіе чрезъ которое мы смотрѣли бы на большой предметъ ab; вмѣсто малой свѣчи (фиг. 366) стояла бы большая свѣча AB. Та-



Фиг. 366.

кимъ образомъ стекло кажущимся образомъ удаляетъ предметъ увеличивая его размѣры (подобно вогнутому зеркалу въ случаѣ когда предметъ ближе фокуса). Разстояніе на которомъ кажется изображеніе тѣмъ больше чѣмъ предметъ ближе къ фокусу. Когда онъ въ самомъ фокусѣ, то изображеніе какъ бы уходитъ на безконечное разстояніе.

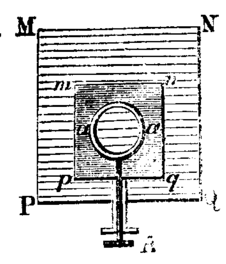
Чтобы найти разстояніе f, на которомъ представляется изображеніе, когда предметъ помѣщенъ на разстояніи d отъ стекла, обратимся къ фиг. 365. Изъ тріугольниковъ asO и ASO имѣемъ $as : AS = sO : SO = f : d$; изъ тріугольниковъ asF и mnF, обративъ вниманіе что $AS = mn$ получаемъ $as : mn = as : AS = d+F : F$; слѣд. $f : d = d+F : F$, откуда $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ формула позволяющая опредѣлить f, если извѣстны d и фокусное разстояніе F стекла.

Опредѣлить *увеличеніе* стекла въ данномъ случаѣ значитъ найти отношеніе угла зрѣнія, подъ какимъ предметъ представляется чрезъ стекло къ углу зрѣнія, подъ какимъ мы его

видимъ простымъ глазомъ. Въ послѣднемъ случаѣ мы не можемъ помѣстить предметъ такъ близко какъ въ случаѣ когда смотримъ чрезъ стекло, ибо зрѣніе было бы не ясно, но удаляемъ его на разстояніе яснаго зрѣнія. Мѣрою угла зрѣнія будетъ въ такомъ случаѣ величина $\frac{ab}{\Delta}$, гдѣ ab величина предмета, Δ разстояніе яснаго зрѣнія. Мѣра угла зрѣнія при наблюденіи чрезъ стекло есть $\frac{ab}{d}$, гдѣ ab величина предмета, d разстояніе предмета отъ стекла. Это разстояніе, въ случаѣ если изображеніе откинуто стекломъ на значительное разстояніе (глазъ слѣдовательно приспособленъ къ зрѣнію отдаленныхъ предметовъ), можно считать мало розпящимся отъ фокуснаго разстоянія стекла F. Итакъ увеличеніе будетъ $G = \frac{ab}{d} : \frac{ab}{\Delta} = \frac{\Delta}{d} = \frac{\Delta}{F}$, то-есть равно *разстоянію яснаго зрѣнія наблюдателя дѣленному на фокусное разстояніе стекла*

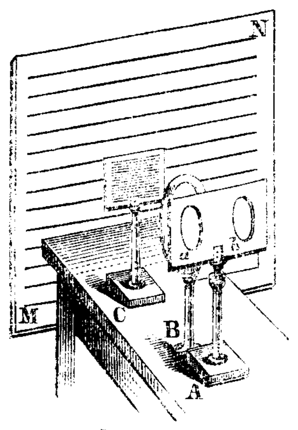
Собирающее стекло съ короткимъ фокусомъ, употребляемое для разсматриванія мелкихъ предметовъ въ увеличенномъ видѣ именуется *лупою*, а если фокусъ весьма коротокъ—*простымъ микроскопомъ*. Стеклянный шарикъ наполненный водою или иною преломляющею жидкостію, капля воды положенная на маленькую дырочку, сдѣланную иголкой въ древесномъ листѣ или въ иной тонкой пластинкѣ,—простѣйшіе примѣры микроскопа.

§ 273. Кажущееся увеличеніе наблюдаемаго чрезъ стекло предмета, при удаленіи глаза. Если, не сдвигая ни стекла, ни разсматриваемаго чрезъ него предмета, наблюдатель станетъ удалять свой глазъ отъ стекла, то предметъ будетъ *видимо рости*. Между тѣмъ это рѣзкое увеличеніе предмета въ нѣсколько разъ есть только обманъ сужденія, и на самомъ дѣлѣ, величина рисунка на ретинѣ даже уменьшается по мѣрѣ удаленія нашего отъ стекла. Въ этомъ не трудно убѣдиться изъ слѣдующихъ опытовъ. Сзади стекла aa (фиг. 367), нѣсколько ближе его фокуснаго разстоянія, помѣстимъ небольшой картонный экранъ $mnpq$ на которомъ начерченъ рядъ горизонтальныхъ линій, раздѣленныхъ равными промежутками. Промежутки и линіи, повидимому, сильно расширяются при удаленіи глаза. Но поставимъ сзади этого перваго экрана второй большой $MNPQ$. Помѣстимъ его именно въ томъ разстояніи, на какомъ согласно съ предыдущею теоріей, *кажется* видимая чрезъ стекло часть экрана $mnpq$



Фиг. 367.

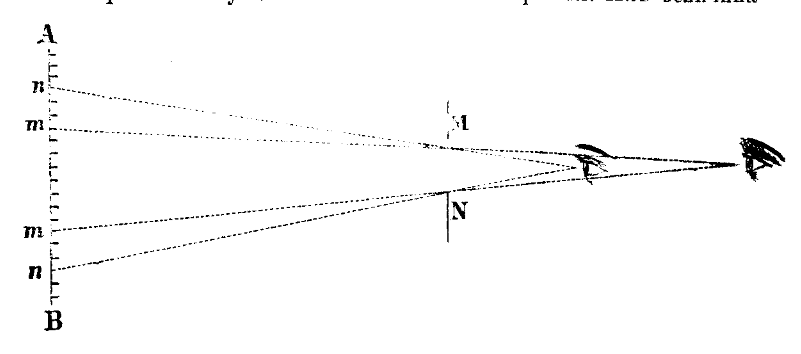
Вмѣстѣ съ тѣмъ допустимъ, что начерченныя на большомъ экранѣ линіи раздѣлены промежутками такой величины, какой кажутся видимые чрезъ стекло промежутки перваго экрана. (Разстояніе экрана $MNPQ$ и величину его промежутковъ легко опредѣлить вычисленіемъ, которое можно оправдать особымъ испытаніемъ). Въ такомъ случаѣ видимая чрезъ стекло часть экрана $mnpq$ и видимые прямо края экрана $MNPQ$ будутъ имѣть совершенно одинаковый видъ; и если одна изъ чертъ видимыхъ въ стеклѣ совпадаетъ съ направленіемъ какой-либо изъ чертъ большаго экрана, то и всѣ другія черты будутъ совпадать съ соотвѣтствующими чертами большаго экрана. *Опытъ показываетъ что это совпаденіе будетъ сохраняться и въ томъ случаѣ, когда мы будемъ удаляться отъ стекла.* Вмѣстѣ съ тѣмъ мы замѣтимъ, что число чертъ, помѣщающихся въ отверстіи стекла, будетъ уменьшаться. Фиг. 368 изображаетъ тотъ же опытъ, въ нѣсколько иной, еще болѣе наглядной формѣ. Въ картонѣ, помѣщенномъ на стойкѣ A, сдѣланы два отверстія; сзади одного изъ нихъ помѣщены стойка B съ увеличительнымъ стекломъ и стойка C съ небольшимъ экраномъ, на которомъ начерченъ рядъ линій. Сзади втораго отверстія поставленъ, на разстояніи указанномъ вычисленіемъ, большой экранъ, подобный описанному въ предыдущемъ опытѣ. Если экраны расположены правильнымъ образомъ, то зрѣлище, какое представятъ глазу наблюдателя оба отверстія, будетъ совершенно одинаково и *останется одинаковымъ* и при удаленіи глаза Черты будутъ совпадать и промежутки, видимые чрезъ отверстіе безъ стекла будутъ казаться точно также увеличивающимися какъ и видимые чрезъ отверстіе со стекломъ.



Фиг. 368.

Легко понять, почему, при удаленіи глаза, предметъ, на который мы смотримъ чрезъ стекло или, что все равно, чрезъ отверстіе, кажется увеличивающимся. Когда (фиг. 369) глазъ находится близко къ отверстію, за которымъ стоитъ предметъ AB (въ нашемъ случаѣ экранъ $MNPQ$), то въ полѣ зрѣнія, видимомъ въ отверстіи, находятся, напримѣръ, 14 промежутковъ. Но когда глазъ удалится, то въ томъ же полѣ зрѣнія мы будемъ видѣть только восемь, пять и т. д., промежутковъ. Не давая себѣ отчета о разстояніи, на которомъ экранъ по-

мѣщенъ за отверстіемъ, наблюдатель невольно судитъ о величинѣ промежутковъ по тому числу ихъ, какое помѣщается въ разныхъ случаяхъ въ томъ же полѣ зрѣнія. Ихъ величина

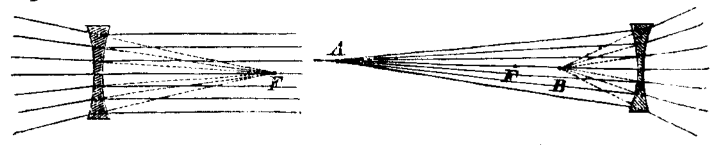


Фиг. 369.

ему кажется больше, когда онъ видитъ меньшее число ихъ въ томъ же пространствѣ. Не только экранъ съ чертами, но вообще всякій предметъ, разсматриваемый чрезъ отверстіе, отъ котораго мы удаляемся, кажется увеличивающимся, хотя впрочемъ не во всѣхъ случаяхъ это обнаруживается одинаково, ибо при наблюденіи чрезъ отверстіе мы всегда имѣемъ болѣе, чѣмъ въ случаѣ стекла, обстоятельствъ позволяющихъ судить объ истинномъ разстояніи предметовъ и отчасти ослабляющихъ описанный обманъ зрѣнія. Любопытенъ случай съ книгою. Когда мы смотримъ чрезъ отверстіе на строки книги, помѣщенной не далеко за этимъ отверстіемъ, и удаляемся отъ него, то въ первое время (когда еще можемъ читать) буквы кажутся замѣтно уменьшающимися, но потомъ, когда зрѣніе перестаетъ быть яснымъ и мы не можемъ болѣе читать, строки и разстоянія между ними кажутся растущими, какъ черты и промежутки въ случаѣ экрана. Пока мы можемъ еще читать, то мы судимъ о разстояніи книги и величинѣ буквъ по большей или меньшей трудности чтенія, но далѣе употребляемъ то же сужденіе какъ въ случаѣ экрана.

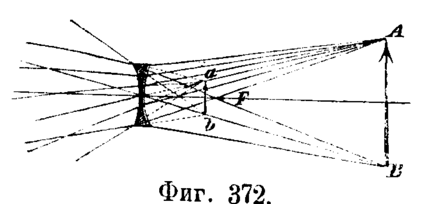
§ 274. Зрѣніе чрезъ разсѣвающее стекло. Пучокъ параллельныхъ оси лучей (фиг. 370), преломившись въ разсѣвающемъ стеклѣ, превращается въ пучокъ расходящійся, вершина котораго F именуется *фокусомъ* разсѣвающаго стекла. Фокусъ этотъ *мнимый* или *призрачный*. Лучи выходящіе изъ точки A лежащей на оси (фиг. 371), по преломленіи въ разсѣвающемъ

стеклѣ образуютъ расходящійся пучокъ, вершина котораго B ближе къ стеклу чѣмъ фокусъ F. Наконецъ.



Фиг. 370. Фиг. 371.

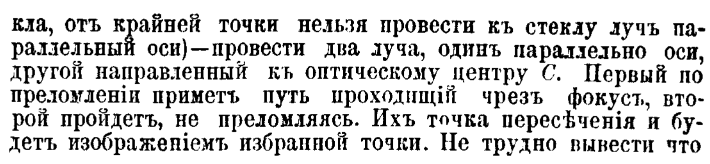
если передъ стекломъ находится (фиг. 372) отдаленный предметъ AB, то каждая точка его даетъ свой пучокъ,



Фиг. 372.

который, по преломленіи, превращается въ пучокъ, имѣющій вершину въ точкѣ ближе къ зеркалу лежащей. Такимъ образомъ точка A даетъ свое изображеніе въ a, точка B въ b и вообще ab будетъ изображеніе предмета AB. Изображеніе ближе къ зеркалу чѣмъ фокусъ F (оно будетъ въ самомъ фокусѣ если предметъ находится на безконечно далекомъ разстояніи). Величина изображенія опредѣляется угломъ, образуемымъ линіями проведенными отъ средины или, точнѣе, отъ оптическаго центра стекла къ вершинѣ и основанію предмета. Оно значительно меньше предмета. Такимъ образомъ если мы помѣстимъ глазъ предъ стекломъ и будемъ чрезъ него смотрѣть на предметъ AB, то вмѣсто предмета увидимъ его маленькое изображеніе ab, стоящее близко за стекломъ. Разсѣвающее стекло подобно вогнутому зеркалу какъ бы приближаетъ предметъ, уменьшая его въ размѣрахъ.

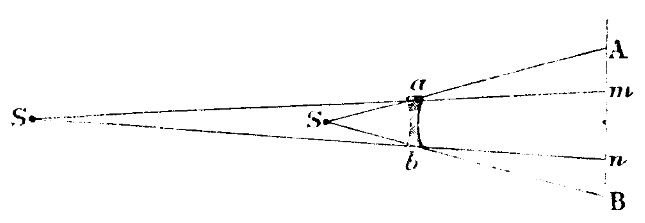
Чтобы построить мѣсто изображенія, достаточно отъ какой-либо точки предмета (не говоримъ отъ *крайней* точки потому что въ случаѣ если величина предмета болѣе величины сте-



кла, отъ крайней точки нельзя провести къ стеклу лучъ параллельный оси)—провести два луча, одинъ параллельно оси, другой направленный къ оптическому центру C. Первый по преломленіи приметъ путь проходящій чрезъ фокусъ, второй пройдетъ, не преломляясь. Ихъ точка пересѣченія и будетъ изображеніемъ избранной точки. Не трудно вывести что

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{F}.$$

Чтобъ опредѣлить величину фокуснаго разстоянія разсѣвающаго стекла можно поступить такъ. Поставивъ стекло на разстояніи Δ отъ стѣны или экрана, помѣстимъ предъ нимъ на разстояніи d свѣчу. Лучи свѣчи прошедшіе у контуровъ стекла проложатъ (фиг. 373) на экранъ его тѣнь mn, лучи же прошедшіе *чрезъ* стекло выйдутъ изъ него, такъ какъ если предъ нимъ на маломъ разстояніи f стояла маленькая свѣча, лучи которой

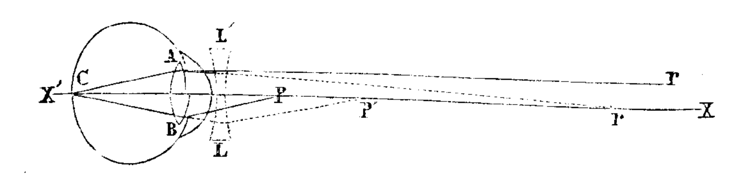


Фиг. 373.

идутъ чрезъ стекло какъ чрезъ отверстіе. Они дадутъ на экранѣ слабо освѣщенный, но во всякомъ случаѣ достаточно замѣтный кругъ AB, выступающій за контуръ тѣни. Отношеніе діаметра свѣтлаго круга къ діаметру стекла не трудно измѣрить. Но $AB : ab = (\Delta + f : f$, откуда опредѣлимъ f. Зная, кромѣ того, d, то-есть разстояніе свѣчи отъ стекла, изъ предыдущей формулы найдемъ F.

§ 275. Употребленіе собирающаго и разсѣвающаго стекла въ качествѣ очковъ. Въ случаѣ близорукаго глаза употребляются очки изъ вогнутыхъ или разсѣвающихъ стеколъ. Близорукій глазъ не видитъ ясно отдаленныхъ предметовъ (§ 25[illegible]): его punctum remotum (то-есть дальнѣйшій пунктъ яснаго зрѣнія безъ приспособленія) находится отъ него на близкомъ разстояніи, которое назовемъ δ. Если помѣстимъ предъ глазомъ разсѣвающее стекло, котораго фокусное разстояніе есть δ, то оно поставитъ предъ глазомъ на этомъ именно разстояніи изображеніе отдаленныхъ предметовъ, которое и будетъ видимо отчетливо, такъ будетъ какъ находиться на разстояніи яснаго зрѣнія. Другими словами, лучи идущіе изъ нѣкоторой отдаленной точки, параллельно, напримѣръ, оси (фиг. 370) по преломленіи въ стеклѣ LL' принимаютъ такой путь какъ еслибы выходили изъ точки r, лежащей на разстояніи яснаго

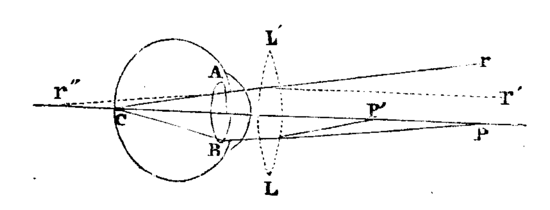
зрѣнія отъ глаза и потому соединяются на ретинѣ. Еслибы стекла не было они соединились бы предъ ретиною; стекло,



Фиг. 374.

ослабляя преломляющую силу глаза, удаляетъ изображеніе до ретины. Мы говоримъ о близорукомъ глазѣ безъ приспособленія. Съ приспособленіемъ глазъ этотъ можетъ видѣть ясно предметы между punctum remotum и punctum proximum, изъ коихъ послѣдній находится близко отъ глаза, напримѣръ въ P. Разсѣвающее стекло помѣститъ въ этомъ пунктѣ изображеніе болѣе удаленной точки P', другими словами увеличитъ разстояніе punctum proximum. Книгу, напримѣръ, читающій въ очкахъ поставитъ дальше отъ себя, чѣмъ какъ еслибъ очки были сняты. Такимъ образомъ для близорукаго очки имѣютъ назначеніе сдѣлать возможнымъ наблюденіе отдаленныхъ предметовъ; для наблюденія близкихъ предметовъ очки особеннаго значенія не имѣютъ.

Въ случаѣ глаза, для котораго punctum proximum находится слишкомъ далеко (когда напримѣръ приспособленіе дѣйствуетъ слабо) употребляются въ качествѣ очковъ собирающія стекла. Такое стекло, поставленное предъ глазомъ смотрящимъ на близкій предметъ, напримѣръ на буквы книги, какъ бы удалитъ его, давая изображеніе на разстояніи болѣе значительномъ (§ 999) чѣмъ разстояніе самаго предмета. Дальнозоркій наблюдатель, который безъ стекла долженъ бы былъ держать книгу въ P, на разстояніи превышающемъ нормальное разстояніе яснаго зрѣнія, со стекломъ (фиг. 375) можетъ помѣ-



Фиг. 375.

стить ее ближе, въ P' и увидать ясно: стекло удалитъ ея изображеніе на разстояніе гдѣ глазъ видитъ ясно. Если дальнозоркій глазъ есть въ то же время эмметропическій (то-есть безъ приспособленія видящій ясно отдаленные предметы), то стекло должно быть употребляемо только для наблюденія близкихъ предметовъ. Но если глазъ гетеротропическій, то-есть способный соединять на ретинѣ только сходящіеся лучи (дальнозоркость часто и сопровождается гетеротропіею), то собирающее стекло можетъ помогать наблюденію и отдаленныхъ предметовъ, давая лучамъ, параллельнымъ оси, соединяющимся безъ стекла въ точкѣ r'' (фиг. 375), нѣкоторую сходимость, такъ что послѣ вторичнаго преломленія въ глазѣ они соединятся въ C.

§ 276. Изобрѣтеніе телескопа. Телескопъ Галилея. Въ началѣ XVII вѣка голландскіе оптики стали устроивать трубки, позволявшие отдаленные предметы видѣть какъ бы приближенными и увеличенными. Трубки дѣлались изъ двухъ стеколъ: одного собирающаго, поставленнаго на удаленномъ отъ глаза концѣ трубки и другаго разсѣвающаго на концѣ ближайшемъ къ глазу. Первое, какъ обращенное къ разсматриваемымъ предметамъ, именуется нынѣ *предметнымъ* или *объективомъ*, второе, какъ ближайшее къ глазу,—*глазнымъ* или *окуляромъ*. Слухъ о голландскихъ трубкахъ достигъ Галилея, но безъ подробностей объ ихъ устройствѣ. Галилей самъ сталъ пробовать различныя соединенія стеколъ и въ 1609 году устроилъ свой первый телескопъ, позволившій ему сдѣлать великія астрономическія открытія, о которыхъ онъ сообщилъ ученымъ въ своемъ сочиненіи *Sidereus Nuncius* (1610 г.).

„Предлагаю, говоритъ Галилей,—въ этомъ маломъ сочиненіи нѣчто великое для разсмотрѣнія и размышленія каждому изучающему природу; говорю „великое“, основываясь на важности предмета, на новизнѣ его отъ вѣка неслыханной, а также и на томъ, что дѣло идетъ объ орудіи, дѣлающемъ весьма многое доступнымъ нашему глазу. Великое, конечно есть дѣло узнать о существованіи безчисленнаго множества новыхъ, невидѣнныхъ до сихъ поръ неподвижныхъ звѣздъ, далеко превосходящихъ численностью тѣ, которыя до настоящаго времени могли быть усмотрѣны невооруженнымъ зрѣніемъ. Пріятно и восхитительно смотрѣть на луну (удаленную отъ

насъ почти на 60 земныхъ радіусовъ), какъ будто бы она отстояла только на 2 такихъ радіуса, такъ что діаметръ ея кажется почти въ 30 разъ, поверхность въ 900 разъ, объемъ же въ 2700 разъ большими противъ того какъ видимъ мы ихъ обыкновенно. Смотря на луну при такихъ условіяхъ, всякій замѣтитъ что она, какъ это съ достовѣрностью будетъ доказано ниже, не имѣетъ гладкой полированной поверхности, но представляетъ неровности и возвышенія подобно земной поверхности, покрыта огромными горами, глубокими пропастями и обрывами. Прекратить всѣ споры о млечномъ пути и обнаружить чувству и разумѣнію его истинный составъ,—не за малое, полагаю, должно быть почитаемо. Пріятно кромѣ того показать что строеніе звѣздъ, которыя астрономы называютъ туманными, далеко не то какъ до нынѣ полагали. Но что всего удивительнѣе, и въ достовѣрности чего мы весьма желали бы убѣдить всѣхъ астрономовъ и философовъ,—есть открытіе четырехъ блуждающихъ звѣздъ, которыхъ никто не наблюдалъ еще до насъ; эти свѣтила обращаются въ опредѣленные періоды времени около одной изъ числа извѣстныхъ планетъ, подобно тому, какъ Венера и Меркурій обращаются вокругъ Солнца; упомянутыя четыре планеты то предшествуютъ центральному свѣтилу, то слѣдуютъ за нимъ, но никогда не уходятъ отъ него далѣе извѣстныхъ предѣловъ разстоянія. Все это я, напутствуемый Божіимъ благословеніемъ, открылъ нѣсколько дней тому назадъ при помощи придуманнаго мною зрительнаго снаряда.

„Я увѣренъ, что въ скоромъ времени мною или кѣмъ-нибудь другимъ будетъ открыто многое, еще болѣе замѣчательное, помощію инструментовъ подобныхъ новоизобрѣтенному, форму и устройство котораго, а также и поводъ къ его изобрѣтенію я сейчасъ опишу и затѣмъ представлю отчетъ о сдѣланныхъ мною посредствомъ его наблюденіяхъ.

„Тому назадъ около десяти мѣсяцевъ дошелъ до насъ слухъ, что какимъ-то Голландцемъ устроенъ инструментъ, благодаря которому предметы находящіеся на далекомъ разстояніи кажутся какъ бы близь насъ помѣщенными и могутъ быть разсматриваемы съ ясностію. Дѣйствіе этого удивительнаго снаряда подвергнуто было многимъ опытамъ, достовѣрности которыхъ одни вѣрили, другіе нѣтъ. О томъ же самомъ нѣсколько дней спустя извѣстилъ меня письмомъ благородный Галлъ Яковъ Бадоверъ изъ Лютеціи. Все это такъ заинтересовало меня, что я посвятилъ всѣ свои труды на изысканіе научныхъ началъ и средствъ, которыя дѣлали бы возможнымъ устройство инструмента подобнаго рода, и скоро нашелъ желаемое, основываясь на законахъ преломленія свѣта.

„Прежде всего я приготовилъ себѣ свинцовую трубку, въ оконечности которой вставилъ по стеклу, изъ которыхъ одно было плосковыпуклое, другое плосковогнутое. Приближая затѣмъ глазъ къ вогнутому стеклу, я нашелъ, что предметы, на которые была направлена труба увеличиваются и какъ бы приближаются; именно, всѣ предметы казались въ три раза ближайшими и слѣдовательно въ девять *) разъ большими, чѣмъ какъ они представляются намъ когда смотримъ на нихъ невооруженнымъ глазомъ. Послѣ этого я устроилъ другую, болѣе совершенную трубу, увеличивавшую отдаленные предметы болѣе чѣмъ въ 60 разъ. Наконецъ, не щадя труда и издержекъ, я дошелъ до того что приготовилъ себѣ такую трубу, которая увеличивала предметы въ 1000 разъ и, такимъ образомъ, приближала ихъ на разстояніе болѣе чѣмъ въ 30 разъ ближайшее дѣйствительнаго. Было бы совершенно безполезнымъ говорить, какія выгоды представляетъ такой снарядъ какъ на сушѣ такъ и на морѣ. Но оставивъ земные предметы, я съ моимъ орудіемъ обратился къ небеснымъ и прежде всего взглянулъ на Луну, приблизившуюся ко мнѣ на разстояніе лишь двухъ земныхъ радіусовъ. Затѣмъ съ неописаннымъ наслажденіемъ я много разъ наблюдалъ неподвижныя и блуждающія звѣзды. Замѣчу для тѣхъ которые пожелаютъ сами производить такого рода наблюденія, что труба должна быть приготовлена съ возможною точностію, дабы передаваемое ею изображеніе представлялось совершенно явственно и не имѣло туманныхъ очертаній; необходимо также, чтобы поверхности предметовъ были увеличиваемы трубою не менѣе какъ въ 400 разъ, то-есть чтобы предметы приближались въ 20 разъ къ глазу наблюдателя. Безъ выполненія этихъ условій всѣ попытки увидать что-либо изъ того что, какъ было сказано, мы видѣли на небѣ и о чемъ мы будемъ говорить ниже, останутся тщетными. Въ томъ обладаетъ ли труба сказанною степенью увеличенія, каждый легко можетъ убѣдиться слѣдующимъ образомъ: нужно взять два картонныхъ кружка или квадрата такихъ размѣровъ, чтобы площадь одного изъ нихъ была въ 400 разъ больше площади другаго, чего очевидно достигнемъ, когда діаметръ большаго круга будетъ относиться къ діаметру меньшаго, какъ 20:1. Помѣстивъ рядомъ такіе кружки и ставъ отъ нихъ на довольно значительное разстояніе, будемъ въ одно и то-же время смотрѣть однимъ глазомъ черезъ трубу на меньшій кругъ, другимъ же, невооруженнымъ, на бóльшій; приближаясь затѣмъ понемногу къ мѣсту гдѣ находятся круги и не переставая смотрѣть на нихъ, какъ сейчасъ было сказано, мы вскорѣ замѣтимъ,—если только труба обладаетъ способностію увеличивать предметы въ желаемой степени,—что оба круга имѣютъ одинаковую кажущуюся величину....

„Достойно замѣчанія различіе въ видѣ планетъ и неподвижныхъ звѣздъ при наблюденіи чрезъ трубу. Планеты представляются маленькими кружками, рѣзко очерченными, какъ бы малыми лунами; неподвижныя же звѣзды не имѣютъ опредѣленныхъ

*) Подразумѣвается поверхность предметовъ.

очертаній, но бываютъ окружены какъ бы дрожащими лучами, искрящимися подобно молніи. Труба увеличиваетъ только ихъ блескъ, такъ что звѣзды пятой и шестой величины дѣлаются по яркости равными Сиріусу, самой блестящей изъ неподвижныхъ звѣздъ. Вслѣдствіе этого труба открываетъ намъ почти невѣроятное количество свѣтилъ, укрывавшихся доселѣ отъ невооруженнаго зрѣнія...

„Третій предметъ, обратившій наше вниманіе, былъ млечный путь, составъ котораго, благодаря зрительной трубѣ, обнаружился до того ясно, что теперь можно всѣ споры, мучившіе философовъ въ продолженіи столькихъ вѣковъ, считать разрѣшенными осязательною очевидностью, освободившею насъ отъ голословныхъ преній. Млечный путь есть не что иное какъ тѣсное собраніе безчисленнаго множества звѣздъ; въ какое бы мѣсто млечнаго пути ни была направлена труба, вездѣ намъ представляется громадное множество звѣздъ; многія довольно велики и явственно видимы, а съ ними необозримое множество мельчайшихъ...

„Остается—что за главное въ нашемъ дѣлѣ почитаю—сообщить объ открытіи и наблюденіи четырехъ планетъ, отъ начала міра до нашихъ временъ никогда невиданныхъ... 7 января 1610 года, въ первомъ часу нечи, наблюдая небесныя свѣтила, я, между прочимъ, направилъ на Юпитера мою трубу и, благодаря ея совершенству, увидѣлъ недалеко отъ планеты три маленькія блестящія звѣздочки, которыхъ прежде не замѣчалъ вслѣдствіе слабаго увеличенія бывшей въ то время у меня трубы. Эти свѣтлыя точки были приняты мною за неподвижныя звѣзды; онѣ обратили на себя мое вниманіе только потому, что всѣ три находились на совершенно прямой линіи, параллельной эклиптикѣ, и были нѣсколько ярче звѣздъ одинаковой съ ними величины. Расположеніе ихъ относительно Юпитера было слѣдующее: двѣ находились на восточной сторонѣ планеты, третья же — на западной. Крайняя восточная звѣздочка и западная казались немного большими третьей. Я тогда не опредѣлялъ точнымъ образомъ ихъ взаимныхъ разстояній, ибо, какъ сказано, онѣ были сочтены мною за неподвижныя звѣзды. Черезъ восемь дней, ведомый не знаю какою судьбою, я опять направилъ трубу на Юпитера и увидѣлъ что расположеніе звѣздочекъ значительно измѣнилось: именно, всѣ три помѣщались на западѣ отъ планеты и ближе одна къ другой, чѣмъ въ предшествовавшее наблюденіе. Онѣ по прежнему стояли на прямой линіи, но уже были раздѣлены между собою равными промежутками. Хотя я былъ далекъ отъ мысли приписать это собственному движенію звѣздочекъ, но тѣмъ не менѣе сомнѣвался, чтобы такое измѣненіе въ ихъ положеніи могло произойти отъ перемѣщенія Юпитера, за нѣсколько дней находившагося на западѣ отъ двухъ изъ звѣздочекъ... Съ величайшимъ нетерпѣніемъ ожидалъ я слѣдующей ночи, чтобы разсѣять свои сомнѣнія, но былъ обманутъ въ своихъ ожиданіяхъ: небо въ эту ночь было со всѣхъ сторонъ покрыто облаками. На десятый день я снова увидѣлъ звѣздочки... (Галилей описываетъ далѣе новое расположеніе звѣздочекъ и дальнѣйшія свои надъ ними наблюденія; число звѣздочекъ оказалось четыре). Вслѣдствіе всего этого я уже безъ малѣйшаго колебанія рѣшилъ, что существуютъ четыре свѣтила, вращающіяся около Юпитера подобно тому какъ Венера или Марсъ вращаются около Солнца. Нынѣ имѣемъ очевидный аргументъ чтобы разсѣять сомнѣніе тѣхъ кои, склоняясь допустить что планеты обращаются вокругъ солнца, смущаются однако какимъ образомъ Луна несется вокругъ Земли и въ то же время вмѣстѣ съ нею совершаетъ годичный кругъ около Солнца... Мы знаемъ теперь что есть планеты обращающіяся одна около другой и въ то же время вмѣстѣ несущіяся вокругъ Солнца; мы знаемъ что и около Юпитера движутся, и не одна, но четыре луны, слѣдующія за нимъ во все продолженіе его двѣнадцатилѣтняго обращенія около Солнца".

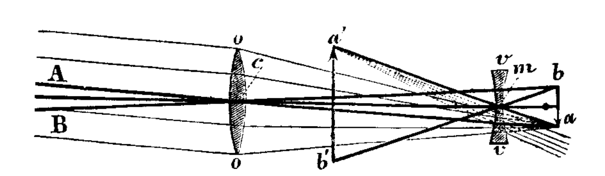
Открытіе фазъ Венеры, наблюденіе солнечныхъ пятенъ слѣдовали за первыми открытіями Галилея *).

§ 277. Теорія Галилеевой трубки. Разсѣвающее стекло ставится за объективомъ ближе того мѣста (§ 269), гдѣ этотъ послѣдній далъ бы отчетливое изображеніе отдаленнаго предмета. Въ разсѣвающее стекло вступаютъ слѣдовательно пучки сходящихся лучей; одинъ изъ такихъ пучковъ

---

*) Открытія Галилея разрушившія господствовавшія понятія о строеніи міра были встрѣчены недовѣріемъ защитниковъ стараго ученія. Кеплеръ былъ одинъ изъ первыхъ оцѣнившихъ великое значеніе раскрытій произведенныхъ помощію новаго снаряда. О нѣкоторыхъ изъ своихъ противниковъ Галилей такъ писалъ Кеплеру въ письмѣ отъ 19 августа 1610 года. „Посмѣемся, мой Кеплеръ, великой глупости людской! Что сказать о первыхъ философахъ здѣшней гимназіи, которые съ какимъ-то упорствомъ аспида, несмотря на тысячекратное приглашеніе, не хотѣли даже взглянуть ни на планеты, ни на луну, ни на телескопъ. Поистинѣ, какъ у того нѣтъ ушей, такъ у этихъ глаза закрыты для свѣта истины. Замѣчательно, но меня не дивитъ. Этотъ родъ людей думаетъ, что философія какая-то книга, какъ *Энеида* или *Одиссея*: истину же надо искать не въ мірѣ, не въ природѣ, а въ сличеніи текстовъ. Почему не могу посмѣяться вмѣстѣ съ тобою? Какъ громко расхохотался бы ты, еслибы слышалъ что толковалъ противъ меня, въ присутствіи великаго герцога Пизанскаго, первый ученый этой гимназіи, какъ усиливался онъ логическими аргументами, какъ бы магическими прельщеніями, отозвать и удалить съ неба новыя планеты!"

направленный къ a, изображенъ на фиг. 376. Стекло, разбрасывая

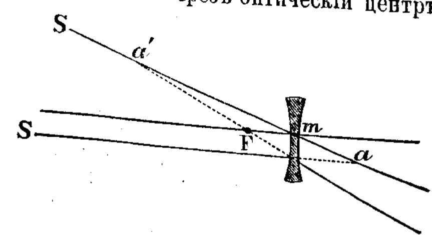


Фиг. 376.

лучи даннаго пучка, можетъ превратить ихъ изъ сходящихся въ параллельные или даже расходящіеся. Оно превращаетъ лучи каждаго изъ пучковъ въ параллельные между собою, если отстоитъ отъ мѣста, гдѣ безъ него образовалось бы изображеніе ab—на разстояніи равномъ его фокусному разстоянію. Если же оно отстоитъ отъ ab дальше своего фокуснаго разстоянія (такъ и есть на чертежѣ), то лучи каждаго изъ пучковъ становятся расходящимися. Чрезъ это *дѣйствительное* изображеніе ab превращается въ *мнимое* $a'b'$. Изображеніе это удалено отъ окуляра на безконечное разстояніе, если ab приходится въ его фокусѣ; оно приближается къ окуляру по мѣрѣ его сближенія съ объективомъ.

Глазъ помѣщенный предъ стекломъ vv видитъ мнимое изображеніе $a'b'$. Такъ какъ a', изображеніе верхней точки предмета, находится вверху; b', изображеніе нижней точки, внизу, то глазъ видитъ чрезъ трубу предметъ въ *прямомъ* положеніи.

Превращеніе, помощію разсѣвающаго стекла, сходящагося пучка въ расходящійся, и чрезъ то обратнаго дѣйствительнаго изображенія въ мнимое прямое удобно прослѣдить, обозначивъ отдѣльно, какъ сдѣлано на фиг. 377, путь двухъ лучей, изъ числа стремящихся соединиться въ точкѣ a, и избравъ эти лучи такъ чтобъ одинъ Sa былъ параллленъ оси, другой же Sma проходилъ чрезъ оптическій центръ m стекла.



Фиг. 377.

Послѣдній пройдетъ не преломляясь, первый по преломленіи направится такъ что путь его, продолженный мысленно назадъ, долженъ пройти чрезъ фокусъ F.

Увеличеніе Галилеевой трубы найдемъ, если сравнимъ (фиг.

376) уголъ $a'mb'=amb$, подъ которымъ видимъ изображеніе чрезъ трубу, съ угломъ $AcB=acb$, подъ которымъ видѣли бы этотъ предметъ простымъ глазомъ. Эти углы, опирающіеся оба на линію ab, относятся между собою какъ разстояніе изображенія ab отъ стекла oo къ разстоянію ab отъ стекла vv. Такъ какъ предметъ вообще находится на большомъ разстояніи, то разстояніе ab отъ объектива oo равняется фокусному растоянію F_1 этого стекла. Разстояніе изображенія ab отъ стекла vv также мало разнится отъ фокуснаго разстоянія F_2 этого стекла, если допустимъ что глазъ наблюдателя приспособленъ къ отдаленному разстоянію и потому стекло vv поставлено такъ что отбрасываетъ изображеніе $a'b'$ на значительное разстояніе, превращая пучки сходящихся лучей въ пучки лучей параллельныхъ. Слѣдовательно *увеличеніе* $G=\frac{F_1}{F_2}$, то-есть равняется *фокусному разстоянію объектива дѣленному на фокусное разстояніе окуляра.*

Практически увеличеніе не трудно опредѣлить, смотря одновременно однимъ глазомъ чрезъ трубу, а другимъ прямо на предметъ правильной формы или на нарочно поставленную скалу съ дѣленіями, и опредѣляя во сколько разъ видимое чрезъ трубу изображеніе предмета кажется болѣе самого предмета видимаго простымъ глазомъ.

Поле зрѣнія Галилеевой трубы, то-есть выраженную въ градусахъ величину діаметра пространства заразъ чрезъ нее усматриваемаго,—не трудно опредѣлить на основаніи слѣдующихъ простыхъ соображеній. Видимые въ трубу предметы кажутся помѣщающимися въ свѣтломъ кругѣ, который есть не что иное, какъ *мнимое изображеніе* *) отверстія объектива, усматриваемое чрезъ окуляръ. Такъ какъ вообще изъ центра стекла предметъ и его изображеніе кажутся подъ одинаковымъ угломъ, то за мѣру угловой величины діаметра этого видимаго глазомъ свѣтлаго окна можно приблизительно принять,—предполагая глазъ у оптическаго центра окуляра,—частное отъ дѣленія величины объектива (выраженной, напримѣръ, въ миллиметрахъ) на разстояніе объектива отъ окуляра (выраженное такимъ же образомъ) то-есть: $\frac{D}{F_1-F_2}$, гдѣ D діаметръ объектива а разность F_1-F_2 сказанное разстояніе (согласно теоріи трубы). Выраженная въ градусахъ эта величина будетъ

$$\frac{360^\circ}{2\pi}\cdot\frac{D}{F_1-F_2}.$$

Еслибы чрезъ окно такой угловой величины мы простымъ глазомъ смотрѣли на предметы, то это число градусовъ прямо указывало бы какую часть всего круга внѣшнихъ предметовъ мы усматриваемъ заразъ. Но такъ какъ труба увеличиваетъ въ n, напримѣръ, разъ, то-есть какъ бы ставитъ пред-

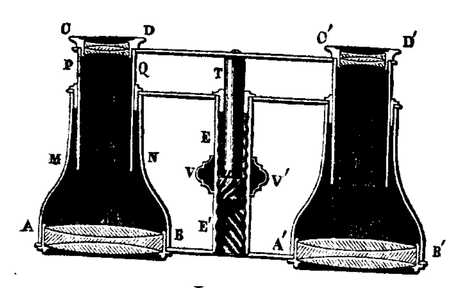
*) Съ не совсѣмъ ясными очертаніями по близости къ глазу.

меты въ n разъ ближе къ глазу, то, при томъ же видимомъ отверстіи, мы чрезъ трубу увидимъ въ n разъ меньшую часть круга внѣшнихъ предметовъ. Потому, чтобъ имѣть истинное поле зрѣнія Галилеевой трубки, надо предыдущее выраженіе еще раздѣлить на n или на $\frac{F_1}{F_2}$, такъ какъ n, по предыдущему, равно $\frac{F_1}{F_2}$. Итакъ поле зрѣнія есть:

$$\frac{360^0}{2\pi}\cdot\frac{D}{F_1-F_2}\cdot\frac{F_2}{F_1}$$

Повѣрить предлагаемую теорію не трудно, опредѣляя поле зрѣнія прямымъ опытомъ, измѣряя, напримѣръ, разстояніе отъ трубы и между собою двухъ *крайнихъ* предметовъ видимыхъ чрезъ трубу, положимъ, двухъ свѣчъ поставленныхъ на опредѣленномъ разстояніи отъ наблюдателя.

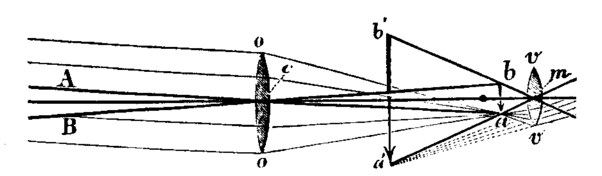
При нѣсколько значительномъ увеличеніи, поле зрѣнія Галилеевой трубы имѣетъ малую величину, и потому употребленіе ея для астрономическихъ наблюденій было скоро оставлено; нынѣ же она употребляется главнымъ образомъ, въ формѣ двухъ соединенныхъ трубокъ или *бинокля* (фиг. 378), при театральныхъ и другихъ зрѣлищахъ.



Фиг. 378.

§ 278. **Астрономическая труба Кеплера и Шейнера.** Кеплеръ въ своей *Діоптрикѣ* предложилъ другое соединеніе стеколъ для зрительной трубы,—именно два собирающія стекла, одно въ качествѣ объектива, другое въ качествѣ окуляра. Первый ученый на практикѣ воспользовавшійся такою трубой для астрономическихъ наблюденій былъ іезуитъ Шейнеръ. Объективъ даетъ близь своего фокуса обратное воздушное изображеніе предмета. Наблюдатель чрезъ второе собирающее стекло разсматриваетъ

это изображеніе въ увеличенномъ видѣ, приблизивъ окуляръ къ изображенію нѣсколько ближе фокуснаго разстоянія. Фиг. 379 даетъ понятіе о теоріи такой зрительной трубы, о которой мы уже упоминали, говоря въ § 269 о наблюденіи глазомъ воздушныхъ изображеній.

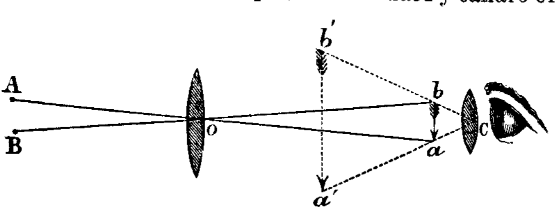


Фиг. 379.

Лучи вышедшіе изъ какой-нибудь отдаленной точки A по преломленіи въ объективѣ oo соединяются въ точкѣ a, и вновь расходясь, попадаютъ на окуляръ vv, превращающій пучокъ расходящійся изъ a въ другой менѣе расходящійся, вершина котораго a' лежитъ далѣе отъ стекла чѣмъ a. Вообще дѣйствительное обратное изображеніе ab окуляромъ превращается въ мнимое обратное же изображеніе $a'b'$, и отбрасывается на разстояніе яснаго зрѣнія смотрящаго глаза.

Шейнеръ (1630 г.) объ астрономической зрительной трубѣ говоритъ такъ: „Если приладишь два одинаковыхъ стекла въ трубѣ и надлежащимъ образомъ приложишь глазъ, то увидишь въ обратномъ положеніи, но съ удивительною ясностію и величиною, какіе-либо земные предметы. И звѣзды можно привести въ послушаніе зрѣнію; и такъ какъ онѣ круглы, то обратность положенія не измѣнитъ зрѣлища въ томъ что касается видимой формы,—какъ то бываетъ относительно земныхъ предметовъ, какъ то можно замѣтить и относительно Луны, ибо она не всегда кругла и однородна. Если тѣмъ же способомъ приладишь два выпуклыя цвѣтныя стекла въ трубѣ, то получишь дивный *геліоскопъ* и откроешь то что сокрыто въ солнцѣ. Подобнымъ искусствомъ составился тотъ удивительный микроскопъ что показываетъ муху со слона и блоху съ верблюда. Если тебя смущаетъ обратность положенія, то помощію двухъ выпуклыхъ стеколъ можешь, на бумагѣ, (въ проложеніи) получить изображеніе въ прямомъ видѣ, а помощію трехъ, надлежаще поставленныхъ, достичь того же и для смотрящаго глаза."

Увеличеніе получимъ, сравнивая (фиг. 380) уголъ bCa подъ которымъ кажется изображеніе (предполагая глазъ у самаго стекла)



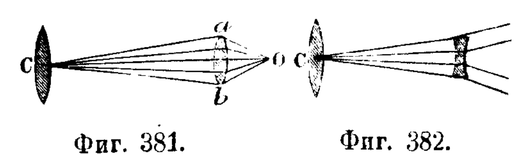
Фиг. 380.

съ угломъ $boa=BoA$, подъ которымъ предметъ представился бы простому глазу. Углы эти относятся между собою какъ разстояніе изображенія ab отъ объектива относится къ разстоянію ab отъ окуляра, то-есть приблизительно какъ F_1,—фокусное разстояніе объектива, къ F_2, фокусному разстоянію окуляра (если допустимъ что смотрящій глазъ приспособленъ къ далекому разстоянію и слѣдовательно изображеніе ab чтобы быть отброшеннымъ далеко должно быть близко къ фокусу окуляра). Слѣд. $G=\frac{F_1}{F_2}$ какъ и въ Галилеевой трубкѣ.

Практическое опредѣленіе увеличенія основывается, какъ и въ случаѣ Галилеевой трубки, на одновременномъ наблюденіи предмета чрезъ трубу и простымъ глазомъ. Пользуются также слѣдующимъ пріемомъ. Если, уставивъ трубу для отдаленныхъ предметовъ, направить ее къ свѣтлому пространству, напримѣръ къ небесному своду, и удалить нѣсколько глазъ отъ окуляра, то въ срединѣ окуляра замѣтимъ свѣтлое круглое пятно, которое есть не иное что̀ какъ образованное дѣйствіемъ окуляра воздушное изображеніе отверстія объектива. Это изображеніе какъ не трудно доказать, во столько разъ менѣе самого отверстія во сколько F_2 менѣе F_1. Потому, если, измѣривъ величину діаметра сказаннаго свѣлаго пятна (для этого его можно принять на экранъ или на стекло съ мелкими дѣленіями), раздѣлимъ на нее величину діаметра объектива, то получимъ *увеличеніе*.

Поле зрѣнія. Каждая точка видимаго чрезъ трубу предмета даетъ пучокъ лучей, собираемыхъ объективомъ въ одну точку, изъ которой они опять расходятся, но дѣйствіемъ окуляра вновь сводятся въ одну точку на ретинѣ наблюдателя. Путь пучка удобно слѣдить, обративъ вниманіе на его осевой лучъ, проходящій чрезъ оптическій центръ объектива. Остальные лучи пучка служатъ, главнымъ образомъ, лишь къ тому чтобы поддерживать силу этого центральнаго; на нихъ потому можно не обращать вниманія: ограничиваясь разсмотрѣніемъ однихъ центральныхъ, которые расходятся изъ центра

объектива какъ изъ общей вершины и, попадая въ глазъ, производятъ изображеніе. Но лучи, идущіе изъ центра (фиг. 381) объектива какъ изъ вершины, окуляромъ сводятся въ одну точку въ



Фиг. 381. Фиг. 382.

томъ мѣстѣ гдѣ окуляръ, дѣйствуя какъ собирающее стекло, даетъ воздушное изображеніе отверстія объектива. Эта точка называется *глазною*; помѣщенный около нея глазъ приметъ всѣ центральные лучи попавшіе на окуляръ, который потому и будетъ дѣйствовать полнымъ своимъ отверстіемъ. Поле зрѣнія будетъ наибольшее и обозрѣваемое пространство опредѣлится угломъ aCb, равнымъ углу, подъ какимъ окуляръ показался бы, еслибы смотрѣть на него изъ центра объектива. Мѣра этого угла есть $\frac{d}{F_1+F_2}$, гдѣ d діаметръ окуляра: въ градусахъ: $\frac{360^\circ}{2\pi}\cdot\frac{d}{F_1+F_2}$.

Окуляръ разсѣвающій, какой употребляется въ Галилеевой трубкѣ, удаляетъ между собою упомянутые центральные лучи пучковъ (фиг. 382) и если глазъ даже у самаго окуляра, то въ него попадаетъ не болѣе такихъ лучей какъ сколько ихъ опирается на отверстіе зрачка. Но мы сдѣлали бы ошибку, еслибъ опредѣлили поле зрѣнія величиною угла, подъ какимъ отверс зрачка кажется изъ центра объектива, ибо значительная ча изображенія на ретинѣ образуется пучками проникающ не чрезъ центральную часть объектива и слѣдовательно не имѣющими центральнаго луча въ принятомъ нами смыслѣ. Поле зрѣнія Галилеевой трубки зависитъ отъ величины отверстія объектива, какъ видно изъ предложенной (§ 275) нами выше теоріи *).

---

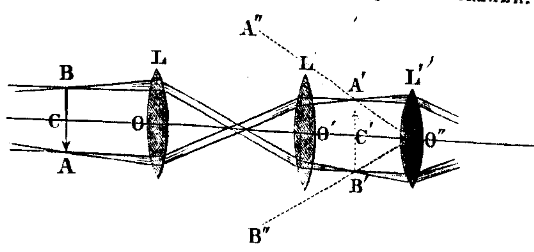
*) Теорія эта прилагается и къ Кеплеровой трубѣ. Здѣсь окно, чрезъ которое смотримъ, есть отверстіе окуляра ab (фиг. 381). Угловая величина его приблизительно получится если діаметръ d окуляра раздѣлимъ на разстояніе отъ окуляра точки O гдѣ глазъ, (разстояніе это, какъ не трудно видѣть, есть $\frac{F_2(F_1+F_2)}{F_1}$) и помножимъ на $\frac{360^\circ}{2\pi}$. Раздѣливъ полученное такимъ образомъ угловое разстояніе на увеличеніе $\frac{F_1}{F_2}$, получимъ поле зрѣнія.

Такъ какъ увеличеніе тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше фокусное разстояніе объектива сравнительно съ фокуснымъ разстояніемъ окуляра, то когда Кеплерова труба замѣнила Галилееву, стали устраивать трубы съ очень длиннымъ фокуснымъ разстояніемъ объектива; дѣлались трубы болѣе 150 футовъ длиною (напримѣръ длинные телескопы Гюгенса). Оптическіе недостатки изображенія въ длинномъ телескопѣ менѣе замѣтны чѣмъ въ короткомъ, такъ какъ, во-первыхъ, преломляющее дѣйствіе,—причина этихъ недостатковъ, слабѣе въ объективѣ съ длиннымъ фокусомъ чѣмъ въ болѣе выпукломъ объективѣ съ короткимъ фокусомъ, и, вовторыхъ, для того же увеличенія, въ длинномъ требуется менѣе сильный окуляръ, открывающій глазу недостатки воздушнаго изображенія не въ столь увеличенномъ видѣ, какъ болѣе сильный, то-есть болѣе увеличивающій окуляръ.

Дальнѣйшія усовершенствованія астрономическихъ трубъ состояли во введеніи окуляровъ изъ нѣсколькихъ стеколъ (сложные окуляры изъ двухъ стеколъ), а главное въ устройствѣ *ахроматическихъ* объективовъ, то-есть дающихъ изображеніе свободное отъ цвѣтныхъ коймъ. Изобрѣтеніе такихъ объективовъ дозволило изгнать длинные телескопы, съ которыми было крайне трудно управляться.

Для наблюденія земныхъ предметовъ, которые неудобно разсматривать верхъ ногами, употребляются сложные окуляры изъ трехъ или четырехъ стеколъ.

Фиг. 383 изображаетъ окуляръ съ тремя стеклами. Стекла



Фиг. 383.

L и L' даютъ въ $A'B'$ обратное изображеніе объективомъ доставленнаго изображенія AB. Новое изображеніе $A'B'$, представляющее предметъ уже въ прямомъ видѣ, разсматривается стекломъ L''. Можно было бы получить изображеніе $A'B'$ помощію одного стекла L, но тогда это стекло пришлось бы дальше поставить отъ AB, чрезъ что поле зрѣнія уменьшилось бы. Вмѣсто стекла L'' въ свою очередь можно взять соединеніе двухъ стеколъ. Получимъ земной окуляръ изъ четырехъ стеколъ.

Телескопъ Кеплера именуется также *рефракторомъ* или *діоптрическимъ* телескопомъ, такъ какъ изображеніе получается путемъ преломленія.

Если отодвинуть окуляръ отъ объектива, такъ чтобъ изображеніе ab (фиг. 380) было нѣсколько дальше отъ окуляра чѣмъ фокусное разстояніе этого послѣдняго, то окуляръ будетъ относительно ab дѣйствовать какъ собирающее стекло дающее дѣйствительныя изображенія. Получится изображеніе отъ изображенія ab, которое и можно принять на экранъ. По отношенію къ предмету оно будетъ прямое. Такимъ способомъ, напримѣръ, наблюдали въ XVII вѣкѣ солнечныя затменія какъ видно на фиг. 384 заимствованной изъ сочиненія извѣстнаго астронома своего времени, бургомистра въ городѣ Данцигѣ, Гевелія (1673 г.) — *Machina coelestis*.

Фиг. 384.

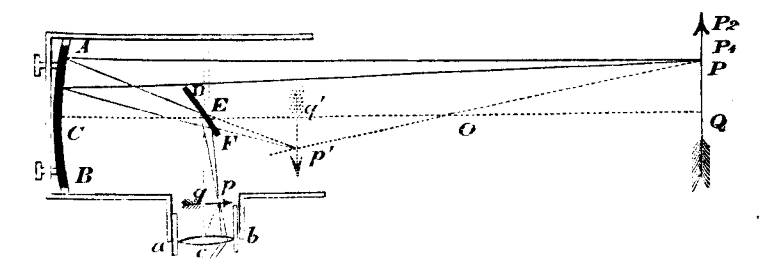
Разсматривая теорію зрительной трубы, мы предполагали предметъ удаленнымъ на безконечно великое или по крайней мѣрѣ весьма большое разстояніе. Чѣмъ ближе предметъ къ объективу тѣмъ дальше отъ него будетъ изображеніе ab и тѣмъ слѣдовательно больше надо раздвинуть трубу (чтобы поставить окуляръ въ надлежащее разстояніе отъ ab). На этомъ основаніи, помощію трубы мы можемъ до извѣстной степени судить о раз-

стояніи на какомъ находится предметъ и слѣдовательно пользоваться трубою въ качествѣ *дальномѣра*. Но это возможно съ нѣкоторою точностію только для недалекихъ разстояній, такъ какъ предметъ удаленный, напримѣръ, на разстояніе значительнаго числа фокусныхъ разстояній стекла даетъ изображеніе уже весьма близко къ фокусу; да и, вслѣдствіе приспособленія глаза, окуляръ трудно устанавливать однообразно. При объясненіи элементарныхъ оптическихъ явленій, труба можетъ служить для нахожденія мѣста оптическихъ изображеній, о чемъ глазъ даетъ весьма несовершенное сужденіе. Помощію трубы можно, напримѣръ, убѣдиться что въ плоскомъ зеркалѣ мнимое изображеніе находится на такомъ же разстояніи какъ предметъ предъ зеркаломъ, въ выпукломъ близко и пр.

§ 279. Катоптрическій телескопъ Ньютона. Когда сдѣлалось извѣстнымъ и распространилось употребленіе Голландской или Галилеевой трубы, нѣкоторые ученые,—принимая въ соображеніе что вогнутое зеркало способно точно также какъ собирающее стекло давать дѣйствительныя изображенія, — высказывали мысль о замѣнѣ объективнаго стекла вогнутымъ зеркаломъ *). Практическое осуществленіе этой мысли принадлежитъ Ньютону. Изслѣдуя причину цвѣтныхъ коймъ на мѣстахъ перехода отъ свѣта къ тѣни въ изображеніяхъ получаемыхъ путемъ преломленія (явленіе *хроматизма*) и ошибочно считая этотъ недостатокъ неустранимымъ; соображая, съ другой стороны, что изображенія получаемыя чрезъ отраженіе отъ такихъ коймъ свободны, Ньютонъ возымѣлъ надежду, пользуясь отраженіемъ отъ металлическаго выгнутаго зеркала, устроить *катоптрическій* (основанный на отраженіи) телескопъ болѣе совершенный чѣмъ телескопы *діоптрическіе* (основанные на преломленіи) или *рефракторы*. Къ концу 1671 года онъ представилъ въ Лондонское Королевское общество соб-

*) Невыгода замѣны стекла зеркаломъ въ томъ что при отраженіи утрачивается свѣта гораздо болѣе чѣмъ при прохожденіи чрезъ прозрачное стекло и потому для достиженія одинакой яркости изображенія отверстіе зеркала должно быть много больше отверстія стекла.

ственными руками сдѣланный телескопъ, металлическое зеркало котораго имѣло радіусъ $12^2/_3$ дюйма и слѣдовательно „собирало солнечные лучи на разстояніи $6^1/_3$ дюймовъ“. Отраженные зеркаломъ лучи (фиг. 385)



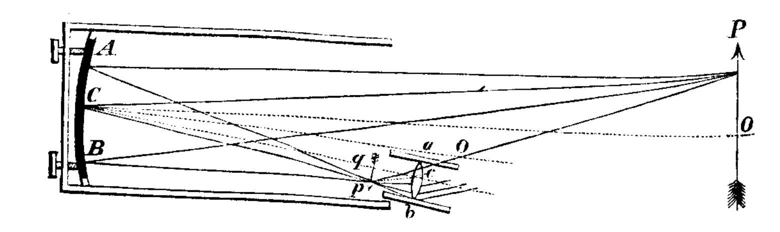
Фиг. 385.

падали на маленькое плоское зеркало *E*, наклоненное подъ угломъ 45° къ оси трубы. Оно отражало изображеніе, которое, еслибы зеркальца не было, образовалось бы въ *pq*, въ сторонѣ трубы, гдѣ было сдѣлано отверстіе принимавшее небольшую трубку съ плоско-выпуклымъ глазнымъ стекломъ, котораго радіусъ былъ около $^1/_{12}$ дюйма (фокусное разстояніе слѣдовательно около $^1/_6$ дюйма); предметъ представлялся увеличеннымъ въ 38 разъ. Телескопъ не уступалъ лучшимъ шести-футовымъ рефракторамъ того времени.

Катоптрическіе телескопы впрочемъ медленно входили въ употребленіе и только лѣтъ чрезъ шестьдесятъ послѣ первыхъ попытокъ Ньютона были доведены въ мастерскихъ англійскихъ оптиковъ до такого совершенства, что могли конкурировать съ бывшими тогда въ употребленіи длинными діоптрическими трубами. Открытіе, около средины прошлаго столѣтія, ахроматическаго объектива (то-есть сложнаго стекла дающаго изображенія свободныя отъ цвѣтныхъ коймъ) вновь отодвинуло катоптрическіе сна-

ряды на заднiй планъ до той эпохи, когда Уилльямъ Гершель, знаменитый англiйскiй астрономъ конца прошлаго вѣка, вновь не прибѣгъ къ этому средству проникать въ глубину пространства, сдѣлавъ изъ катоптрическаго телескопа могущественнѣйшiй изъ оптическихъ снарядовъ для наблюденiя отдаленныхъ предметовъ.

Гершель собственноручно приготовилъ болѣе четырехсотъ зеркалъ и изъ нихъ до восьмидесяти въ двадцать футовъ фокуснаго разстоянiя. Самый большой изъ его телескоповъ имѣлъ сорокъ футовъ фокуснаго разстоянiя и зеркало съ отверстiемъ въ четыре фута въ дiаметрѣ (издержки построенiя приняты были на себя англiйскимъ королемъ). Чтобъ избѣгнуть потери свѣта при вторичномъ отраженiи отъ малаго зеркала въ телескопѣ по системѣ Ньютона, Гершель располагалъ свои большiе телескопы какъ показано на фиг. 386. Зеркало ставилось слегка на-



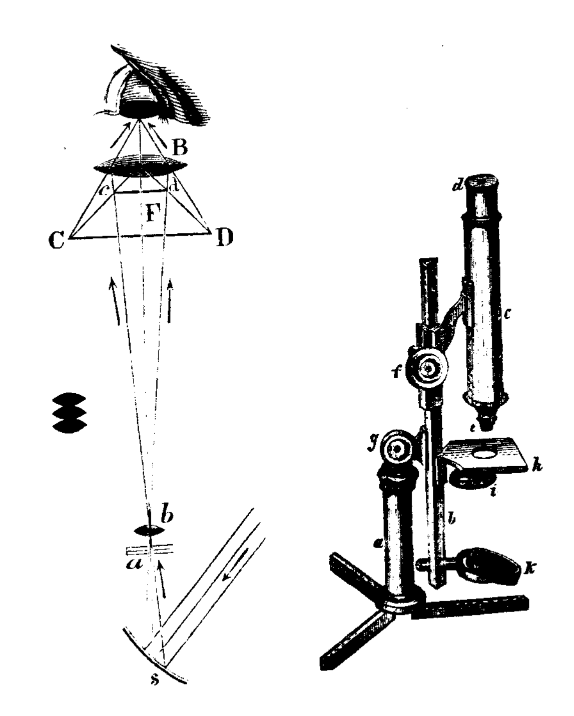
Фиг. 386.

клонно, и изображенiе образовавшееся при краѣ трубы прямо наблюдалось окуляромъ.

Въ нынѣшнемъ столѣтiи огромные телескопы, превзошедшiе телескопы Гершеля, были устраиваемы лордомъ Россомъ въ сороковыхъ годахъ.

§ 280. Сложный микроскопъ. Теорiя сложнаго микроскопа въ основной идеѣ та же какъ и зрительной

трубы. Онъ состоитъ изъ двухъ стеколъ: объектива съ весьма короткимъ фокусомъ, дающаго (фиг. 387) увеличенное обратное изображенiе малаго предмета помѣщаемаго подъ нимъ нѣсколько далѣе чѣмъ фокусное разстоянiе; и изъ окуляра, помощiю котораго наблюдатель разсматриваетъ воздушное изображенiе cd,—дѣйствiемъ окуляра удаленное, уве-

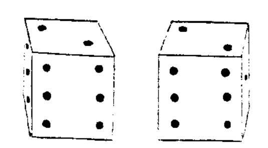


Фиг. 387. Фиг. 388.

личенное и кажущееся въ CD. Увеличенiе равно произведенiю увеличенiя объектива на увеличенiе окуляра. Для освѣщенiя предмета, представляющаго собою обыкновенно тонкiй просвѣчивающiй

слой, употребляется зеркальце помѣщаемое внизу снаряда, общій видъ котораго изображенъ на фиг. 388.

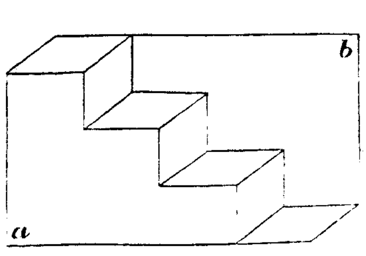
§ 281. **Зрѣніе двумя глазами. Стереоскопъ.** Предметъ стоящій предъ наблюдателемъ въ близкомъ разстояніи представляется неодинаково для его праваго и лѣваго глаза. Такъ, если помѣстимъ предъ собою ребромъ, перпендикулярно къ линіи соединяющей одинъ глазъ съ другимъ, листъ бумаги, то правый глазъ, если закроемъ лѣвый, увидитъ правую сторону бумаги, лѣвый, при закрытомъ правомъ, лѣвую. Поставимъ, палецъ предъ свѣчой такъ что бы онъ загораживалъ ее для праваго, напримѣръ, глаза, когда лѣвый закрытъ. Если откроемъ лѣвый глазъ, закрывъ правый, то палецъ покажется значительно отклоненнымъ вправо, а свѣчка сдѣлается видимою. Кубикъ съ пятнышками, поставленный предъ глазами представляется не одинаково для праваго и лѣваго глазъ, какъ видно на фиг. 389. Явленіе происходитъ отъ того



Фиг. 389.

что правый и лѣвый глазъ, находясь на нѣкоторомъ разстояніи между собою, съ разныхъ точекъ смотрятъ на предметъ, вслѣдствіе чего рисунокъ на ихъ ретинахъ неодинаковъ. Когда смотримъ двумя глазами, то соединяемъ оба впечатлѣнія и, усматривая ясно лишь небольшое протяженіе около того мѣста, на которомъ сводимъ оси обоихъ глазъ, не даемъ себѣ отчета что всѣ другія части двоятся. Обозрѣвая предметъ и переходя отъ наблюденія болѣе близкой его точки къ наблюденію болѣе далекой, измѣняемъ сходимость

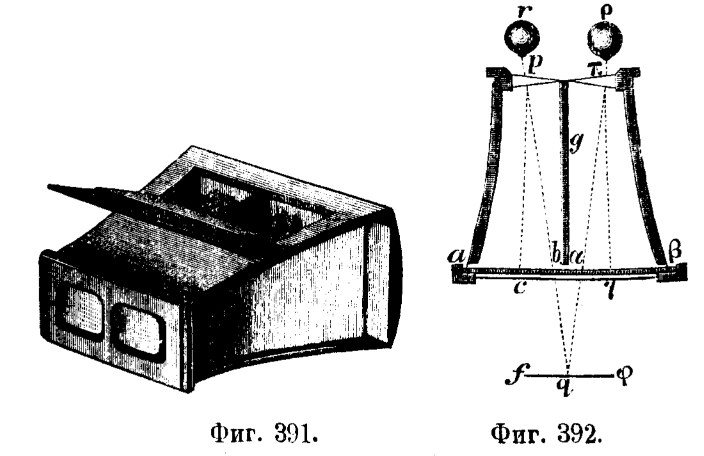
осей. Смутное сознаніе этой перемены позволяетъ отличить наблюденіе *тѣлеснаго* предмета и вообще точекъ находящихся на разномъ разстояніи отъ наблюденія рисунка, не имѣющаго глубины. Такимъ образомъ наблюденіе *двумя* глазами есть одно изъ главныхъ средствъ для представленія рельефа. Правда, относительно нѣсколько удаленныхъ предметовъ, мы не замѣчаемъ разницы при наблюденіи ихъ однимъ или двумя глазами. Расположеніе свѣта и тѣни, измѣненія приспособленія и дѣйствіе воображенія, особенно относительно знакомыхъ предметовъ (такъ фигуру 390 можно представить себѣ перспективно и притомъ двояко, или какъ восходящую лѣстницу или какъ низходящій карнизъ *), дозволяютъ и при наблюденіи однимъ глазомъ получить представленіе рельефа и глубины. Но наблюденіе *двумя* глазами пополняетъ эти средства. Кромѣ того оно позволяетъ, какъ показалъ, въ 1835 году, англійскій физикъ Уитстонъ (Wheatstone), получить, *наблюдая рисунокъ* (или точнѣе два рисунка), и притомъ безъ усилія воображенія, невольно впечатлѣніе тѣлесности изображенныхъ предметовъ и ихъ расположенія въ пространствѣ одного ближе, другаго дальше. Инструментъ Уитстона назначенный для этой цѣли именуется стереоскопомъ. Англійскій физикъ Брюстеръ далъ ему слѣдующее, нынѣ употребительное, устройство. Представимъ себѣ два рисунка: одинъ изображающій



Фиг. 390.

*) Въ первомъ случаѣ наблюдатель долженъ представить себѣ стѣну *a* какъ ближайшую къ себѣ; во второмъ, ближайшею должна представляться стѣна *b*.

предметъ какъ онъ кажется правому глазу, другой— какъ онъ представляется лѣвому. Помѣстимъ рисунки предъ соотвѣтствующими глазами. Дабы впечатлѣніе было то самое какое доставляется дѣйствительнымъ предметомъ, надо чтобъ оба рисунка казались *на одномъ и томъ же мѣстѣ*, какъ бы исходя отъ одного и того же предмета, на этомъ мѣстѣ находящагося. Это достигается помощію двухъ тонкихъ призмочекъ, или, лучше, помощію двухъ частей вырѣзанныхъ изъ выпуклаго стекла и помѣщенныхъ такъ что ихъ тонкіе края приходятся къ носу, толстые въ сторону висковъ. Такія призмочки или стекла (фиг. 392), отклоняя лучи къ толстымъ концамъ



Фиг. 391. Фиг. 392.

(направляя, напримѣръ, лучи идущіе изъ точекъ c и γ такъ какъ еслибъ они выходили изъ общей точки q), представляютъ оба рисунка на одномъ и томъ же мѣстѣ. Стекло къ тому же ихъ нѣсколько удаляетъ и увеличиваетъ. Впечатлѣніе происходитъ такъ будто бы въ $f\varphi$ былъ дѣйствительный предметъ. Рисунки для стереоскопа, кромѣ геометрическихъ фигуръ, дѣлаются обыкновенно фотографическіе. Но такъ какъ отдаленные предметы предста-

вляются почти одинаково для обоихъ глазъ (разстояніе между двумя глазами ничтожно сравнительно съ разстояніемъ предметовъ отъ наблюдателя), то прибѣгаютъ къ *форсированному* рельефу. Снимаютъ фотографическія изображенія въ такомъ видѣ такъ какъ предметъ казался бы правому и лѣвому глазу, если-бы глаза находились одинъ отъ другаго на разстояніи, напримѣръ, сажени и болѣе. Для этого снимаютъ изображенія въ двухъ экземплярахъ, помѣщая камеръ-обскуру послѣдовательно въ двухъ разныхъ мѣстахъ, на сказанномъ разстояніи, и направляя ея ось къ одной избранной точкѣ.

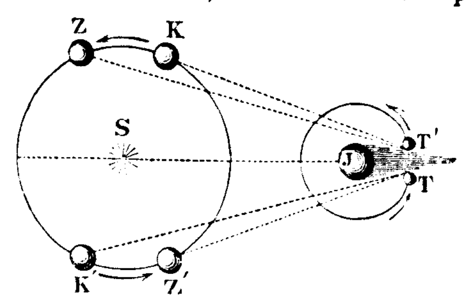
Физическое ученіе о лучахъ свѣта и теплоты. Разнородность лучей испускаемыхъ источниками тепла и свѣта.

§ 282. Скорость распространенія свѣта. Датскій астрономъ Рёмеръ, приглашенный въ члены Парижской Академіи Наукъ въ первые годы ея учрежденія, первый напалъ на остроумную мысль воспользоваться для опредѣленія скорости распространенія свѣта затменіями спутниковъ планеты Юпитеръ. Пусть (фиг. 393 на слѣд. стр.) S есть Солнце, K Земля, движущаяся по своей орбитѣ вокругъ Солнца, какъ показываетъ стрѣлка, J Юпитеръ, сопровождаемый спутникомъ, и въ свою очередь, медленно движущійся вокругъ Солнца, такъ что Земля успѣваетъ сдѣлать цѣлый оборотъ, когда Юпитеръ проходитъ съ небольшимъ 30°. Юпитеръ бросаетъ тѣнь, въ которую первый спутникъ T погружается при каждомъ оборотѣ, приблизительно чрезъ $42\frac{1}{2}$ часа.

„Допустимъ, разсуждалъ Рёмеръ, что наблюдатель видѣлъ перваго спутника во время его выхожденія изъ тѣни въ точкѣ T', при положеніи Земли въ K, около второй квадратуры Юпитера *), и что потомъ, спустя

*) То-есть когда линіи проведенныя отъ Солнца къ Землѣ и Юпитеру дѣлаютъ между собою уголъ около 90°, и Земля удаляется отъ Юпитера.

$42^1/_2$ часа, то-есть послѣ одного обращенія спутника, когда земля находится въ Z,—онъ увидѣлъ вновь его выхожденіе. Очевидно, что если свѣтъ требуетъ нѣ-



Фиг. 393.

котораго времени для прохожденія пространства KZ, то возвращеніе спутника въ T' будетъ видно позже, чѣмъ какъ было бы, еслибы Земля находилась постоянно въ K. Такимъ образомъ обращеніе спутника, наблюдаемое посредствомъ *выхожденій* его изъ тѣни, будетъ замедляться на такое время, какое свѣтъ употребляетъ для прохожденія отъ K къ Z. Напротивъ того, въ другой квадратурѣ, гдѣ Земля, *приближаясь*, идетъ отъ K' къ Z', навстрѣчу свѣта, наблюдаемыя *погруженія въ тѣнь* (выхожденія не видны), покажутся происходящими одно за другимъ настолько же быстрѣе, на сколько выхожденія казались замедленными. А такъ какъ въ $42^1/_2$ часа, которые приблизительно спутникъ употребляетъ для каждаго своего обращенія, разстояніе между Землею и Юпитеромъ, въ первой и второй квадратурѣ, измѣняется по крайней мѣрѣ на 210 земныхъ діаметровъ, то отсюда слѣдуетъ что еслибы для прохожденія земнаго діаметра потребна была секунда времени, то свѣтъ употребилъ бы $3^1/_2$ минуты для прохожденія каждаго изъ разстояній KZ, $K'Z'$; отчего между временами обращеній, изъ которыхъ одно было бы наблюдаемо у KZ, другое у $K'Z'$, произошла бы

разность около $7^1/_2$ минутъ." Наблюденія показали что не только такой значительной, но и вообще ощутительной разности не замѣчается. „Однако, настаивалъ Рёмеръ, отсюда еще не слѣдуетъ чтобы свѣтъ совсѣмъ не употреблялъ времени для распространенія, ибо, разсмотрѣвши дѣло ближе, можно убѣдиться что то чтó кажется неощутительнымъ для двухъ обращеній дѣлаться очень значительнымъ при многихъ обращеніяхъ, взятыхъ вмѣстѣ, и что напримѣръ 40 обращеній, наблюдаемыхъ съ момента когда земля находится въ K, проходятъ чувствительно быстрѣе, чѣмъ 40 обращеній наблюдаемыхъ отъ K', въ какомъ бы мѣстѣ (своей орбиты) ни находился Юпитеръ".

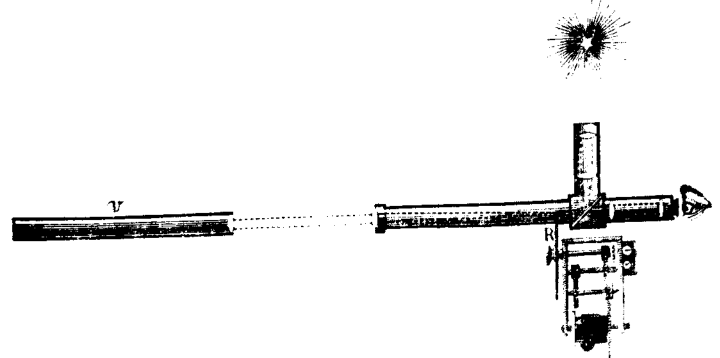
Такимъ образомъ, если въ эпоху когда Земля *приближается* къ Юпитеру опредѣлить съ точностію время между двумя послѣдовательными вхожденіями спутника въ тѣнь и расчитать (принимая что время это остается, какъ того и требуютъ астрономическія соображенія, постояннымъ *) когда должно произойти какое-нибудь довольно отдаленное, напримѣръ, сороковое вхожденіе, то окажется что на самомъ дѣлѣ это сороковое вхожденіе наступитъ нѣсколькими минутами *раньше* расчитаннаго срока. Наоборотъ, если сдѣлать подобное опредѣленіе относительно *выхожденій* спутника изъ тѣни, въ эпоху когда Земля *удаляется* отъ Юпитера, то предсказанное выхожденіе наступитъ *позже* разчитаннаго срока. „Рёмеръ, сказано въ *Мемуарахъ Академіи*, оправдалъ свою теорію всѣми наблюденіями, произведенными въ Королевской Академіи и на Обсерваторіи въ теченіе

*) То обстоятельство что Юпитеръ самъ движется около Солнца, вслѣдствіе чего направленіе тѣни послѣдовательно измѣняется, не измѣняетъ *постоянства* періода времени между двумя истинными погруженіями въ тѣнь или выхожденіями изъ нея. Періодъ этотъ становится только нѣсколько длиннѣе, чѣмъ какимъ былъ бы еслибъ Юпитеръ оставался на одномъ мѣстѣ.

восьми лѣтъ, и вновь она была подтверждена выхожденіемъ перваго спутника, наблюдавшимся въ Парижѣ 9 ноября (1676) въ 5 часовъ 3 минуты и 45 секундъ вечера, десятью минутами позже, чѣмъ можно было ожидать, вычисляя этотъ моментъ помощію выхожденій, которыя были наблюдаемы въ августѣ, когда земля была гораздо ближе къ Юпитеру, что́ г. Рёмеръ и предсказывалъ въ Академіи съ начала сентября".

Слѣдующій примѣръ взятый изъ акустики можетъ пояснить разсужденіе Рёмера. Еслибы, на разстояніи нѣсколькихъ верстъ отъ наблюдателя, стрѣляли чрезъ каждую минуту изъ пушки, и онъ двигался бы, приближаясь къ мѣсту выстрѣловъ и проѣзжая, напримѣръ, по $^1/_6$ версты въ минуту, то онъ слышалъ бы каждый послѣдующій выстрѣлъ на $^1/_2$ секунды ранѣе, чѣмъ еслибъ оставался на мѣстѣ (звукъ въ секунду проходитъ около $^1/_3$ версты). Восемнадцатый выстрѣлъ онъ услышитъ, слѣдовательно, не чрезъ 18 минутъ, а чрезъ 18 минутъ безъ 9 секундъ, то-есть на 9 секундъ ранѣе, именно ранѣе на то время какое звукъ употребляетъ дабы пройти $^{18}/_6=3$ версты,— разстояніе на какое приблизился наблюдатель. Подобнымъ образомъ видимыя погруженія и выхожденія спутника предваряются и запаздываютъ на то время какое свѣтъ употребляетъ чтобы пройти пространство на какое Земля въ данномъ случаѣ приблизилась къ Юпитеру или удалилась отъ него. Астрономія даетъ средство опредѣлить это пространство, а на основаніи его можно вычислить и самую скорость свѣта. Опредѣленіе Ремера было не точно; послѣдующее, болѣе строгое, опредѣленіе дало для скорости свѣта громадную величину 290.000 верстъ или около 300 000 километровъ въ секунду. Отъ Солнца до Земли свѣтъ достигаетъ въ 8 м. 13 с.; отъ звѣздъ въ нѣсколько лѣтъ вѣковъ и болѣе.

Французскій ученый Физо *) въ 1849 году сдѣлалъ опредѣ-
леніе скорости свѣта прямымъ опытомъ на земныхъ разстояні-
яхъ. Онъ остановился на мысли, что если очень быстро вращать
колесо съ зубцами,— равными между собою и съ раздѣляющи
ми ихъ промежутками,—то время какое каждый зубецъ упо-
требитъ чтобы пройти промежутокъ отдѣляющій его отъ слѣ-
дующаго будетъ очень мало, но вмѣстѣ съ тѣмъ легко измѣ-
римо. Если, напримѣръ, колесо дѣлаетъ 10 оборотовъ въ секунду,
а пространство занимаемое каждымъ зубцомъ равно тысячной
доли окружности, то это время будетъ $^1/_{10000}$ доля секунды. Пусть
лучъ свѣта, пройдя чрезъ одинъ изъ промежутковъ колеса, отра-
зится отъ зеркала, поставленнаго на далекомъ разстояніи, и
опять вернется къ колесу. Несмотря на быстроту движенія свѣта,
очевидно, можно дать колесу такую скорость, что возвращаю-
щійся свѣтъ встрѣтитъ зубецъ на томъ мѣстѣ гдѣ былъ про-
межутокъ, когда онъ проходилъ. Посылая такимъ образомъ по-
стоянно свѣтъ чрезъ быстро смѣняющіеся промежутки къ зер-
калу, можно достичь того что, при извѣстной скорости колеса,
возвращающіеся лучи, будучи задерживаемы зубцами, сдѣлают-
ся невидимы наблюдателю стоящему за колесомъ, и появится,
если скорость перемѣнится. Фиг. 394 даетъ понятіе о снарядѣ по-



Фиг. 394.

мощію какого Физо осуществилъ свою мысль. Лучи отъ лампы
сводятся стеклами боковой трубки и, отразившись отъ прозрач-
ной стеклянной пластинки M, соединяются въ одну точку, изъ
которой расходясь далѣе, падаютъ на стекло трубы, поставленное
такъ что эта точка приходится въ его фокусѣ (наблюдателю
они пока невидимы, такъ какъ пластинка отражаетъ лучи въ
сторону противуположную мѣсту гдѣ находится глазъ). Изъ
стекла трубы лучи выходятъ параллельнымъ пучкомъ и

*) Членъ Парижской Академіи Наукъ; родился въ 1819 году.

продолжаютъ путь до другой трубы v, поставленной на разстояніи нѣсколькихъ верстъ (въ опытѣ Физо на разстояніи 8600 метровъ). Стекло трубы v собираетъ параллельные лучи въ своемъ фокусѣ, гдѣ стоитъ зеркало, отражающее ихъ по тому же пути, по какому они пришли. Возвратясь къ первой трубѣ, они вновь собираются въ фокусѣ ея стекла, откуда теперь расходятся уже по направленію къ наблюдателю и, пройдя чрезъ прозрачную пластинку M, попадаютъ въ его глазъ, который и видитъ предъ собою какъ бы маленькую звѣздочку. У точки гдѣ находится эта звѣздочка ставится упомянутое колесо R съ зубцами. Когда колесо получаетъ такую скорость что промежутокъ смѣняется зубцомъ именно въ продолженіе того времени какое свѣтъ употребляетъ чтобъ отъ первой трубы пройти къ трубѣ v и вернуться назадъ, то возвращающійся свѣтъ будетъ всякій разъ встрѣчать препятствіе, и звѣздочка затмится для наблюдателя. При усиленіи скорости она снова появится, и опять затмится, если скорость сдѣлается вдвое больше. Число найденное Физо очень близко къ полученному помощію наблюденія затменій Юпитеровыхъ спутниковъ.

Такъ какъ свѣтъ требуетъ времени чтобъ отъ свѣтящагося тѣла дойти до глаза наблюдателя, то каждая видимая гдѣ-либо въ пространствѣ перемѣна усматривается нами не въ тотъ моментъ какъ происходитъ, но спустя время употребленное свѣтомъ чтобы пройти пространство отдѣляющее насъ отъ мѣста происшествія. Такъ, бываютъ случаи сильнаго увеличенія блеска звѣзды въ короткое время. Въ маѣ 1866 года, напримѣръ, одна изъ маленькихъ звѣздъ созвѣздія Сѣверной Короны въ нѣсколько дней достигла блеска звѣзды второй величины. Катастрофа произведшая такое явленіе произошла много лѣтъ, быть-можетъ, вѣковъ тому назадъ. Замѣтимъ, что изъ ученія о скорости свѣта не слѣдуетъ, какъ можно встрѣтить въ нѣкоторыхъ сочиненіяхъ, будто бы мы видимъ солнце на томъ мѣстѣ какое оно на сводѣ небесномъ занимало 8 м. 13 с. тому назадъ, и что когда усматриваемъ его восходящимъ на горизонтѣ, то уже прошло 8 м. 13 с. послѣ дѣйствительнаго его восхожденія. Это не вѣрно, ибо не солнце движется, а земля вращается, и моментъ восхожденія есть переходъ наблюдателя чрезъ предѣлъ освѣщеннаго и неосвѣщеннаго солнцемъ пространства, переходъ замѣчаемый въ тотъ самый моментъ какъ онъ происходитъ.

§ 283. Физическая теорія свѣта. Теорія истеченія. Для физическаго объясненія явленій свѣта Ньютонъ допускалъ что всѣ „тѣла, когда они нагрѣты выше извѣстнаго предѣла, испускаютъ свѣтъ, сіяютъ“, и что „такое испусканіе свѣта имѣетъ причину въ колебаніяхъ ихъ частицъ“, причемъ самый выходящій свѣтъ есть не иное что̀ какъ „маленькія частички (особаго вещества) выбрасываемыя свѣтящимися тѣлами...

движущіяся равномѣрно, въ однородныхъ средахъ по прямымъ линіямъ... Прозрачныя тѣла на разстояніи дѣйствуютъ на лучи *) свѣта, преломляя, отражая, уклоняя ихъ. Лучи, въ свою очередь, на разстояніи, волнуютъ частицы тѣлъ, нагрѣвая ихъ... Лучи свѣта, падая на дно глаза, возбуждаютъ въ ретинѣ колебанія, распространяющіяся вдоль волоконъ зрительнаго нерва до мозга, возбуждая ощущеніе зрѣнія... Лучи разнаго рода производятъ колебанія разной величины, возбуждая ощущеніе разныхъ цвѣтовъ“. Какъ необходимое слѣдствіе своей теоріи Ньютонъ вывелъ заключеніе, что свѣтъ въ средахъ болѣе преломляющихъ распространяется *быстрѣе*, чѣмъ въ средахъ менѣе преломляющихъ; въ водѣ, стеклѣ, напримѣръ, быстрѣе чѣмъ въ воздухѣ. Прямые опыты, произведенные въ пятидесятыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія французскими учеными Фуко и Физо, опровергли это заключеніе и доказали что свѣтъ въ водѣ движется *медленнѣе* чѣмъ въ воздухѣ. Теорія истеченія оказалась, слѣдовательно, несогласною съ опытомъ. Въ настоящее время общепринята другая теорія, основателемъ которой былъ Гюгенсъ и которая утверждена въ наукѣ трудами Йонга и Френеля **). Теорія эта именуется: *теоріей волненія*.

---

*) Выраженія: лучъ свѣта и частица свѣта равнозначительны у Ньютона. „Малѣйшая часть свѣта, говоритъ онъ, которая можетъ быть остановлена отдѣльно, можетъ отдѣльно распространяться или отдѣльно производить и испытывать нѣчто, независимо отъ остальнаго свѣта, есть то что̀ называю лучемъ свѣта“.

**) Френель (Fresnel) французскій ученый, ученикъ Политехнической Школы, инженеръ, членъ Академіи, родился въ 1788, рано умеръ отъ чахотки, въ 1827. Знаменитъ изслѣдованіями о свѣтѣ; усовершенствовалъ маяки.

Йонгъ (Young), англійскій ученый, родился въ 1773, умеръ въ 1829. Былъ вполнѣ исключительная натура. „*Двухъ лѣтъ*, говоритъ Араго въ біографіи Йонга,—уже умѣлъ бѣгло читать... отличался необыкновенною памятью, такъ что въ четыре года зналъ

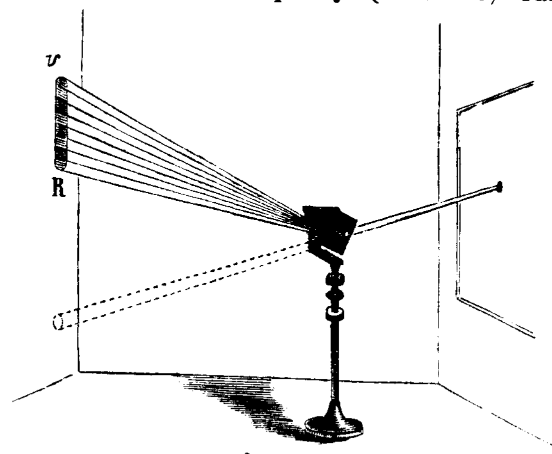
§ 284. Теорія волнообразнаго распространенія свѣта въ эѳирѣ. Теорія эта вытекла изъ размышленія объ очевидной аналогіи между явленіями свѣта и звука. „Звукъ, говоритъ Гюгенсъ, имѣетъ причину въ быстромъ сотрясеніи всего тѣла или значительной его части, волнующемъ прикасающій воздухъ. Свѣтъ долженъ порождаться малѣйшими частицами тѣла... быстрѣйшимъ образомъ волнующими и толкающими частицы

наизусть значительное число англійскихъ авторовъ и даже нѣсколько латинскихъ поэмъ, которыя произносилъ съ начала до конца, хотя тогда и не понималъ еще латинскаго языка... Отъ девяти до четырнадцати лѣтъ, изучая въ школѣ древнихъ классиковъ и занимая постоянно первое мѣсто въ классѣ, онъ успѣлъ въ то же время выучиться по-французски, по-италіянски, по-еврейски, по-персидски и по-арабски. Французскимъ и италіянскимъ языкомъ началъ заниматься чтобъ удовлетворить любопытству своего пріятеля, который имѣлъ нѣсколько книгъ напечатанныхъ въ Парижѣ и желалъ узнать ихъ содержаніе; еврейскимъ, чтобы читать Библію въ подлинникѣ; персидскимъ и арабскимъ, чтобы рѣшить вопросъ, сдѣланный однажды во время рекреаціи: есть ли между восточными языками такая же разница какъ между европейскими... Въ то же время онъ имѣлъ страсть къ ботаникѣ... и предпринялъ самъ устроить микроскопъ, руководясь описаніемъ, находящимся въ книгѣ Мартена; пріобрѣлъ для этой цѣли ловкость въ искуствѣ точенія, но пришелъ было въ большое смущеніе, встрѣтивъ въ алгебраичеекихъ формулахъ оптики непонятные символы (обозначеніе *флюксій*). Не желая однако отказаться отъ наблюденія въ увеличенномъ видѣ пестиковъ и тычинокъ, нашелъ болѣе простымъ выучиться дифференціальному счисленію, чтобы понять несчастную формулу, чѣмъ послать въ сосѣдній городъ купить микроскопъ". Его любимое правило было: всякій можетъ сдѣлать все что̀ можетъ сдѣлать другой. Занимаясь медициной въ Эдинбургѣ, онъ въ короткое время достигъ того что могъ состязаться въ ловкостя съ извѣстнымъ акробатомъ; а въ Геттигенѣ, гдѣ оставался девять мѣсяцевъ, пріобрѣлъ замѣчательное умѣнье волтижировать на лошади. „Я увѣренъ, замѣчаетъ Араго, что изъ всѣхъ извѣстныхъ музыкальныхъ инструментовъ не найдется двухъ на которыхъ бы Йонгъ не умѣлъ играть". Геній Йонга оставилъ слѣдъ въ исторіи самыхъ разнообразныхъ отраслей человѣческаго знанія. Творецъ ученія объ *интерференціи лучей,* онъ основатель современной теоріи свѣта, какъ волнообразнаго движенія; его пытливость одинаково привлекали чудеса свѣтоваго луча, трудные вопросы физіологіи зрѣнія, какъ и тайны египетскихъ іероглифовъ, которыхъ онъ былъ проницательнымъ истолкователемъ.

окружающаго ихъ эѳира, еще болѣе мелкія... Сотрясеніе частицъ производящее свѣтъ должно быть несравненно внезапнѣе и быстрѣе чѣмъ сотрясеніе звучащаго тѣла; свѣтъ не порождается трясеніемъ звучащаго тѣла, какъ звукъ не можетъ произойти отъ движенія руки въ воздухѣ... Матерія въ которой распространяется свѣтъ—не та въ которой распространяется звукъ; послѣдняя не иное что̀ какъ воздухъ". Среда распространяющая свѣтъ есть болѣе тонкая форма матеріи, именуемая эѳиромъ. Гюгенсъ допускалъ что, подобно тому какъ звучащее тѣло посылаетъ сжатыя и разрѣженныя волны, равномѣрно идущія въ воздухъ, свѣтящееся тѣло посылаетъ несравненно болѣе мелкія волны въ тончайшемъ эѳирѣ, наполняющемъ какъ небесныя пространства, такъ и промежутки между частицами тѣлъ, именуемыхъ нами твердыми, жидкими и газообразными. Позднѣйшія изслѣдованія показали что способъ распространенія звуковыхъ и свѣтовыхъ волнъ не одинаковъ. Слои воздуха распространяющіе звукъ качаются сближаясь или удаляясь. Слои эѳира, распространяющіе свѣтъ, быстро качаются перпендикулярно къ лучу, какъ бы скользя послѣдовательно одинъ по другому.

§ 285. Разнородность лучей свѣта доказываемая наблюденіями съ помощію призмы. Открытія Ньютона. „Въ началѣ 1666 года, говоритъ Ньютонъ, въ то время какъ я занимался приготовленіемъ оптическихъ стеколъ инаго вида чѣмъ сферическія, — я досталъ трехгранную стеклянную призму, для того чтобы съ нею изслѣдовать знаменитый феноменъ образованія цвѣтовъ. Для этого, устроивъ такъ чтобы въ моей комнатѣ было темно и сдѣлавъ въ ставнѣ моего окна небольшое отверстіе, чтобы впустить

въ комнату достаточное количество солнечнаго свѣта, я установилъ мою призму (фиг. 395) такъ, что



Фиг. 395.

прошедшіе лучи дали изображеніе солнца на противоположной стѣнѣ." Еслибы призмы не было, то проникшіе чрезъ малое отверстіе лучи дали бы круглое изображеніе солнца внизу стѣны (какъ означено пунктиромъ). Вслѣдствіе же преломленія въ призмѣ, лучи отклоняются къ ея основанію, и изображеніе перемѣщается вверхъ. Оно является, кромѣ того, окрашеннымъ радужными цвѣтами. Именуется *спектромъ*. Ньютонъ различилъ въ немъ семь цвѣтовъ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій и фіолетовый *).

*) Ньютонъ при этомъ руководствовался отчасти желаніемъ провести аналогію между семью нотами гаммы и цвѣтами. Гельмгольтцъ полагаетъ что въ спектрѣ можно различить десять цвѣтовъ. Прибавимъ что въ опытѣ Ньютона разстояніе изображенія отъ отверстія равнялось 22 футамъ; призма помѣщалась у самаго отверстія (фиг. 396) наибольшая длина спектра была равна $13^1/_4$ дюймамъ; его ширина $2^5/_8$ дюймамъ; діаметръ отверстія $^1/_4$ дюйма; уголъ, который образовали лучи идущіе по направленію самой средины изображенія, съ направленіемъ по которому они должны бы были идти безъ преломленія, равнялся 44° 56'; преломля-

Дѣйствіе призмы, разлагающее бѣлые лучи на цвѣтные (путь цвѣтныхъ лучей отъ призмы до экрана легко прослѣдить помощію пылинокъ носящихся въ воздухѣ) называется *раздробленіемъ* свѣта.

При этомъ призму Ньютонъ ставилъ такъ что плоскость паденія пучка (точнѣе его центральнаго луча) была перпендикулярна къ ребру преломляющаго угла, и производимое отклоненіе было наименьшимъ. Положеніе наименьшаго отклоненія находилось такъ: „Поворачивая медленно призму около ея оси, я видѣлъ (говоритъ Ньютонъ) что пролагающійся на стѣну преломленный свѣтъ, то-есть окрашенное изображеніе солнца, сперва понижался, потомъ начиналъ восходить. Между такимъ пониженіемъ и восхожденіемъ, во время когда изображеніе казалось остановившимся, я останавливалъ призму и утверждалъ ее неподвижно. Въ этомъ положеніи преломленіе свѣта при двухъ сторонахъ преломляющаго угла, то-есть при входѣ въ призму и при выходѣ изъ нея, одинаково".

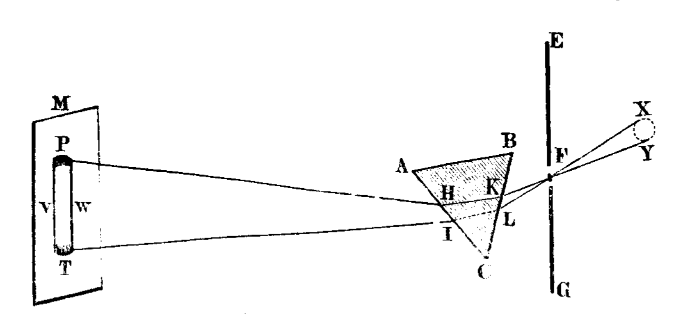
„Сначала, продолжаетъ Ньютонъ, было для меня очень пріятною забавой видѣть такимъ образомъ происшедшіе яркіе и сильные цвѣта, но наблюдая явленіе съ бо́льшимъ тщаніемъ, я къ моему удивленію замѣтилъ что изображеніе представляется продолговатымъ, тогда какъ по законамъ преломленія оно должно бы было имѣть видъ круглый. Это изображеніе кромѣ того было ограничено по бокамъ прямыми линіями, на концахъ же уменьшеніе свѣта было такъ постепенно, что трудно было въ точности опредѣлить какой они имѣли видъ; впрочемъ они казались полукруглыми."

„Сравнивая длину спектра съ его шириной, я нашелъ что первая была въ пять разъ болѣе

ющій уголъ призмы былъ 63° 12'. Углы при вхожденіи въ призму и при выхожденіи, были сдѣланы по возможности равными, и именно около 54° 4'. Вычитая діаметръ отверстія изъ длины и ширины изображенія, остается для длины пространства заключеннаго лучами проходящими чрезъ центръ отверстія 13 дюймовъ, для его ширины $2^4/_8$, и потому уголъ отъ отверстія стягиваемый этою шириною равнялся приблизительно 31', что̀ соотвѣтствовало видимому діаметру солнца; уголъ же стягиваемый длиною изображенія былъ больше чѣмъ въ пять разъ болѣе этого діаметра, именно 2° 49'.

послѣдней. Эта несоразмѣрность показалась мнѣ такъ велика, что меня побудило болѣе чѣмъ обыкновенное любопытство изслѣдовать откуда она происходитъ".

Ньютонъ убѣдился прежде всего что такое удлинненіе солнечнаго изображенія нельзя объяснить, если принять что всѣ лучи падающаго на призму пучка имѣютъ одинаковую преломляемость (то-есть что для каждаго изъ нихъ синусъ угла преломленія составляетъ одинаковую долю синуса угла паденія и слѣдовательно показатель преломленія одинаковъ для всего пучка). Дѣйствительно, при одинаковой преломляемости, пучокъ параллельныхъ лучей и по отклоненіи призмой остался бы таковымъ же (ибо каждый лучъ претерпѣлъ бы одинаковое преломленіе); а пучокъ



Фиг. 396.

лучей слабо расходящихся не могъ бы значительно измѣнить свою расходимость. Такимъ образомъ пучокъ лучей образующихъ тонкій конусъ съ отверстіемъ въ полградуса (а таковъ именно пучокъ солнечныхъ *) лучей XFY проникающихъ (фиг. 396) въ комнату чрезъ малое отверстіе, если разсматривать отверстіе какъ одну точку F) и по выходѣ изъ призмы представилъ бы приблизительно ту же расходимость въ полградуса: отклоненное изображеніе солнца не могло бы значительно отличаться отъ прямаго, падающаго безъ прохожденія чрезъ призму, то-есть осталось бы почти круглымъ.

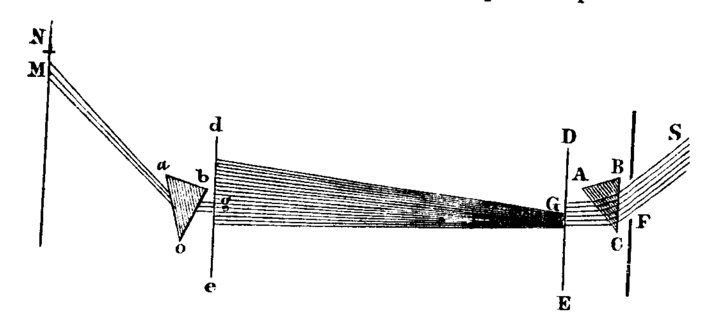
*) Видимый діаметръ солнца имѣетъ величину около 31′.

Точный разборъ пути лучей, графически или помощію вычисленія, указываетъ что въ особенности при положеніи призмы въ minimum отклоненія расходимость лучей и форма изображенія должны бы остаться безъ всякаго замѣтнаго измѣненія. При другихъ положеніяхъ, измѣненіе было бы далеко не такъ значительно какъ показываетъ опытъ даже при minimum отклоненія. Ньютонъ подтвердилъ это новымъ опытомъ, „обращая призму немного около оси въ одну и другую сторону, такъ чтобъ ея наклоненіе къ падающимъ лучамъ измѣнилось болѣе чѣмъ на 4 или 5 градусовъ". Оказалось что цвѣта не перемѣняли значительно своего мѣста на стѣнѣ, и слѣдовательно этимъ разнообразіемъ паденія количество преломленія не измѣнялось значительно. Изъ этого опыта, какъ и изъ вычисленія, очевидно слѣдовало что „разность паденія лучей исходящихъ изъ различныхъ точекъ солнца не могла произвести того дѣйствія, чтобы лучи послѣ преломленія образовали бы между собою бо́льшій уголъ, чѣмъ тотъ подъ которымъ они расходились до вступленія въ призму; а такъ какъ этотъ уголъ не могъ быть болѣе 31 или 32 минутъ, то оставалась все-таки какая-то другая причина, которая дѣлала его равнымъ 2° 49′".

Чтобъ устранить противорѣчіе между теоріей и опытомъ, Ньютонъ допустилъ слѣдующія положенія: 1) лучи образующіе пучокъ солнечнаго свѣта имѣютъ не одинаковую преломляемость; 2) лучи различной преломляемости возбуждаютъ въ нашемъ глазѣ ощущеніе разныхъ цвѣтовъ: наименѣе преломляющіеся ощущеніе краснаго цвѣта, наиболѣе преломляющіеся— фіолетоваго. Ощущеніе бѣлаго цвѣта есть ощущеніе сложное, происходящее отъ совокупнаго дѣйствія цвѣтныхъ лучей, смѣшанныхъ въ извѣстной пропорціи. 3) Тѣла освѣщенныя бѣлымъ свѣтомъ представляются разнаго цвѣта потому что отражаютъ преимущественно нѣкоторые изъ цвѣтныхъ лучей бѣлаго пучка, поглощая остальные. Вслѣдствіе поглощенія же являются цвѣта въ свѣтѣ прошедшемъ чрезъ цвѣтныя стекла или иныя прозрачныя цвѣтныя среды.

§ 286. Прямое доказательство различной преломляемости цвѣтныхъ лучей. Справедливость основнаго положенія о

разной преломляемости лучей Ньютонъ доказалъ слѣдующимъ рѣшительнымъ опытомъ (experimentum crucis). Онъ пропустилъ чрезъ довольно широкое отверстіе въ ставнѣ (фиг. 397) пучокъ солнечныхъ лучей и помѣстивъ, на пути его призму, сзади ея поставилъ доску съ малымъ отверстіемъ. Образовавшійся спектръ принялъ на вторую доску, поставленную отъ первой на разстояніи



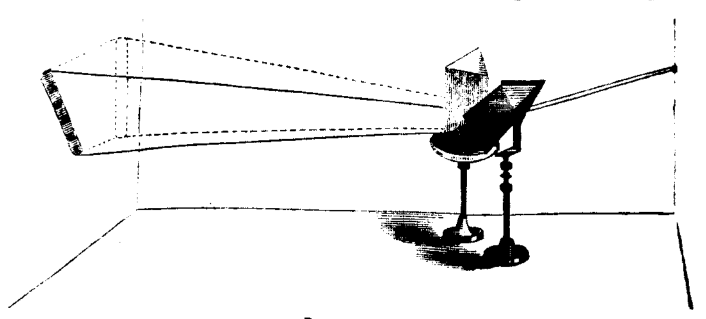
Фиг. 397.

двѣнадцати футовъ. Вторая доска, въ свою очередь, имѣла малое отверстіе около средины изобразившагося на ней спектра, такъ что часть падающихъ лучей могла чрезъ него пройти *). „Потомъ, продолжаетъ Ньютонъ, я поставилъ за этою доской другую призму, такъ чтобы свѣтъ проходящій чрезъ обѣ доски могъ пройти также чрезъ нее, и преломился бы еще разъ прежде чѣмъ дошелъ до стѣны. Устроивъ все такимъ образомъ, я взялъ первую призму въ руки и сталъ тихо обращать ее вокругъ оси въ обѣ стороны, такъ чтобы разныя части изображенія бросаемаго на вторую доску проходили постепенно чрезъ отверстіе сдѣланное въ ней, и я могъ бы наблюдать гдѣ онѣ изобразятся на стѣнѣ послѣ преломленія второю призмой. Тогда я могъ видѣть,—по различію мѣстъ, какія занимали эти

*) Малое отверстіе помѣщенное *за* призмой должно давать спектральное изображеніе солнца точно такъ же какъ еслибы было (подобно какъ въ первомъ опытѣ) *предъ* призмой. Призма, отклоняя лучи къ своему основанію, даетъ мнимое изображеніе солнца и явленіе происходитъ такъ какъ еслибы чрезъ отверстіе проникали лучи отъ свѣтила помѣщеннаго ближе къ горизонту чѣмъ дѣйствительное солнце. Ньютонъ помѣщалъ отверстіе за призмой для того чтобы лучи, проходя чрезъ два неизмѣняемыя отверстія, падали на призму, остававшуюся неподвижною, всегда подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, и разность отклоненія зависѣла исключительно отъ разницы въ показателяхъ преломленія различныхъ цвѣтныхъ лучей.

части на стѣнѣ,—что лучи края изображенія наиболѣе отклоненнаго первою призмой были преломляемы и второю призмой гораздо сильнѣе чѣмъ тѣ которые направлялись къ другому концу изображенія (красные). Такимъ образомъ истинная причина продолговатости изображенія оказалась не иная какъ та, что каждый бѣлый лучъ состоитъ изъ нѣсколькихъ лучей различно преломляемыхъ, которые, совершенно независимо отъ различія ихъ угла паденія, сообразно ихъ степени преломляемости, изображаются на различныхъ мѣстахъ стѣны“.

§ 287. Опытъ съ перекрестными призмами. Ньютонъ въ опытѣ съ *перекрестными призмами*, далъ весьма наглядное доказательство различной преломляемости цвѣтныхъ лучей. Пропустивъ лучи чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ, какъ въ первомъ опытѣ, онъ поставилъ вторую призму непосредственно за первою, но такъ чтобъ онѣ перекрещивались, то-есть, если первая поставлена преломляющимъ ребромъ горизонтально, то ребро второй должно быть вертикально (фиг. 398). Еслибы первая призма была одна, на экранѣ получился бы вертикальный спектръ. Дѣйствіемъ второй призмы онъ отклоняется въ бокъ. При этомъ ширина изображенія не измѣняется отъ преломленія во второй призмѣ, но верхняя, фіолетовая, часть пучка, которая въ первой призмѣ испытала наибольшее преломленіе, преломляется и второю сильнѣе чѣмъ красная нижняя. Вслѣдствіе такого преобладающаго удаленія верхняго конца, спектръ изъ верти-



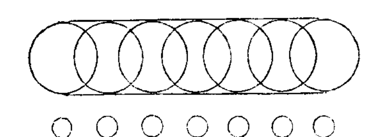
Фиг. 398.

кальнаго сдѣлался наклоннымъ, какъ видно на чертежѣ. Свидѣтельствуя о разной преломляемости лучей разнаго цвѣта, опытъ этотъ вмѣстѣ съ тѣмъ указываетъ, что цвѣтные лучи полученные отъ перваго преломленія новымъ преломленіемъ не раздробляются болѣе, а сохраняютъ свой цвѣтъ.

§ 288. Объясненіе происхожденія спектра. Чистый спектръ. Различною преломляемостію лучей, доказанною приведенными опытами, происхожденіе спектра объясняется вполнѣ. Еслибы всѣ лучи были одинаковой преломляемости, то изображеніе было бы призмой только перенесено въ другое мѣсто, но осталось бы бѣлымъ и сохранило бы свою форму. Но такъ какъ лучи имѣютъ разную преломляемость, то происходитъ ихъ раздробленіе: лучи каждой преломляемости даютъ свое соотвѣтственное изображеніе; изъ сопоставленія такихъ изображеній и слагается спектръ. Еслибы въ первоначальномъ пучкѣ были только красные и фіолетовые лучи, то спектръ состоялъ бы изъ двухъ изображеній: краснаго и фіолетоваго, раздѣленныхъ темнымъ промежуткомъ. Присутствующіе въ пучкѣ лучи среднихъ степеней преломляемости даютъ свои изображенія между этими двумя крайними. Изображенія соотвѣтствующія лучамъ разной преломляемости возбуждаютъ, согласно допущенію Ньютона, въ нашемъ глазѣ ощущенія разнаго цвѣта. Спектръ является потому цвѣтнымъ.

Такъ какъ цвѣта въ спектрѣ слѣдуютъ непрерывно, то должно допустить что нѣтъ замѣтныхъ скачковъ между показателями преломленія разныхъ системъ лучей составляющихъ бѣлый пучокъ. Впрочемъ отсутствіе лучей той или другой преломляемости до извѣстной степени маскируется тѣмъ обстоятельствомъ, что изображенія разнаго цвѣта отчасти смѣшиваются на экранѣ, ибо солнечный спектръ есть соединеніе ряда круговъ, освѣщенныхъ каждый въ от-

дѣльности однородными лучами, но отчасти входящихъ одинъ въ другой и чрезъ то смѣшанныхъ. „Еслибы можно было, замѣчаетъ Ньютонъ, уменьшить діаметръ этихъ круговъ, сохраняя неизмѣннымъ разстояніе ихъ центровъ и ихъ положеніе, то (фиг. 399) они смѣшивались бы менѣе, и раздѣленіе разнородныхъ лучей увеличилось бы въ томъ же отношеніи... Итакъ, чтобъ уменьшить смѣшеніе лучей, надлежитъ уменьшить діаметръ круговъ... Впустивъ въ темную комнату солнечный свѣтъ

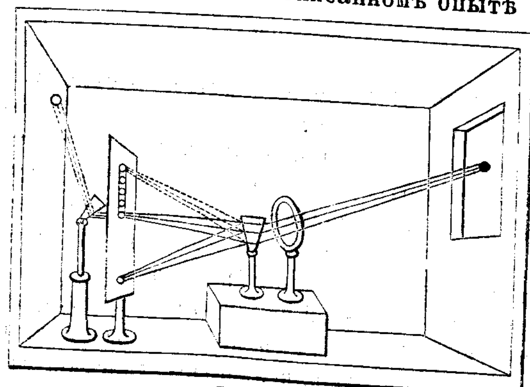


Фиг. 399.

чрезъ небольшое круглое отверстіе въ ставнѣ, я поставилъ въ разстояніи десяти или двѣнадцати футовъ отъ окна собирающее стекло, чрезъ которое отчетливое изображеніе отверстія могло быть проложено на листъ бѣлой бумаги, поставленный на шесть, восемь или двѣнадцать футовъ далѣе (смотря по употребляемому стеклу *). Такимъ образомъ въ этомъ опытѣ пролагалось и призмой перемѣщалось изображеніе не солнца (какъ въ первомъ) а отверстія, и лучи дававшіе изображеніе были, вслѣдствіе дѣйствія стекла, сходящимися... Непосредственно за стекломъ (фиг. 400 на слѣд. стр.) я поставилъ призму, которая дѣйствіемъ преломленія и отклоняла, вверхъ или въ бокъ, круглое изображеніе отверстія, преобразовывая его въ продолговатый спектръ. Круглыя изображенія, изъ какихъ слагается спектръ, имѣли рѣзкое очертаніе, безъ всякой полутѣни, и такъ какъ они находили одно на другое

*) Вообще приблизительно на двойномъ фокусномъ разстояніи стекла.

наименѣе, то смѣшеніе разнородныхъ лучей было возможно малое.... Можно было, уменьшивъ отверстіе, уменьшить по произволу и круги, сохраняя разстояніе ихъ центровъ. Этимъ способомъ я иногда дѣлалъ ширину изображенія въ сорокъ, даже въ шестьдесятъ и семьдесятъ разъ менѣе длины. Еще лучше вмѣсто круглаго отверстія употреблять четвероугольную щель параллельную призмѣ.“ Въ послѣднемъ случаѣ спектръ представлялся въ видѣ длинной четвероугольной полосы. Но и такой сравнительно чистый спектръ не обнаружилъ перерывовъ при переходѣ отъ одного цвѣта къ другому. Фиг. 400, представляющая снимокъ съ оригинальнаго рисунка Ньютона *), даетъ понятіе объ описанномъ опытѣ съ чис-



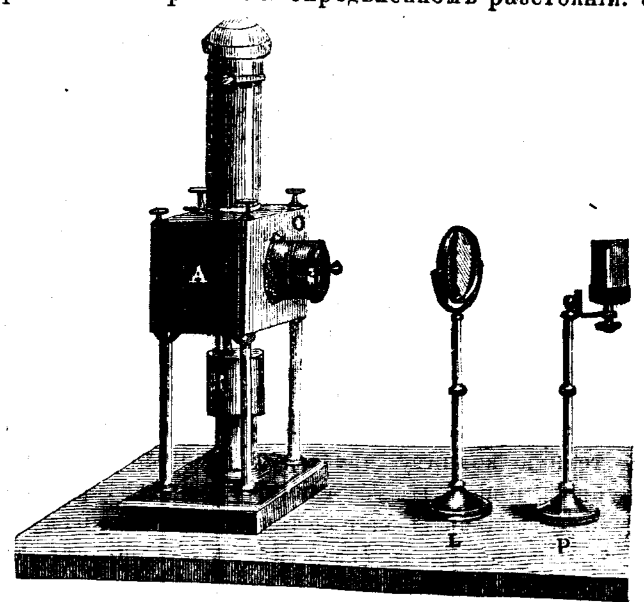
Фиг. 400.

тымъ спектромъ, и кромѣ того изображаетъ опытъ доказывающій что призматическіе цвѣта новымъ преломленіемъ не разлагаются.

§ 289. **Спектръ электрическаго свѣта и другихъ источниковъ.** Чтобы обнаружить разложеніе пучка лучей

*) Рисунокъ этотъ былъ,—съ надписаніемъ: nec variat lux fracta colorem,—присланъ Ньютономъ въ Женеву его пріятелю Арланду и хранится въ тамошней публичной библіотекѣ. Снимокъ заимствованъ нами изъ нѣмецкаго изданія сочиненія римскаго астронома Секки *Солнце.*

не прибѣгая къ сочнечному свѣту, а пользуясь искусственными источниками, — электрическимъ свѣтомъ, лампой и т. п., пользуются методой подобною той какую Ньютонъ употреблялъ для полученія чистаго спектра. Если бы,—поставивъ діафрагму съ малымъ отверстіемъ предъ отверстіемъ фонаря, заключающаго въ себѣ угли электрическаго регулятора или пламя лампы,—мы прямо приняли проходящіе лучи на призму, то получили бы на экранѣ болѣе или менѣе неотчетливое изображеніе углей или пламени съ цвѣтными коймами, но не имѣли бы спектра подобнаго солнечному. Чтобы получить правильный спектръ—предъ отверстіемъ діафрагмы ставятъ собирающее стекло, которое дало бы отчетливое изображеніе отверстія на опредѣленномъ разстояніи. За



Фиг. 401.

стекломъ ставится призма, которая и перемѣщаетъ изображеніе, раздѣляя его на цвѣтныя составныя ча-

сти. Вмѣсто круглой формы предпочтительнѣе дать отверстію форму щели параллельной ребру призмы. Спектръ представится въ видѣ широкой четыреугольной радужной полосы. Расположеніе опыта видно на фиг. 401, представляющей фонарь Дюбоска съ регуляторомъ, стекло и призму.

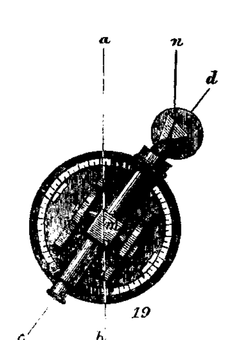
§ 290. Субъективный спектръ. Метода наблюденія Фраунгофера. Фраунгоферовы линіи. Ихъ употребленіе при опредѣленіи показателей преломленія. Спектръ наблюдаемый въ проложеніи на экранѣ именуется вообще *объективнымъ*; спектръ же наблюдаемый непосредственно глазомъ — *субъективнымъ*. Субъективный спектръ образуется если, помѣстивъ глазъ у одной изъ сторонъ призмы, станемъ наблюдать изображеніе узкой свѣтлой щели.

„Пропустивъ въ темную комнату дневной свѣтъ чрезъ щель въ ставнѣ въ $^1/_{20}$ дюйма шириной и разсматривая ее черезъ призму изъ флинтъ-гласа на разстояніи 10 или 12 футовъ", Вульстенъ въ 1802 г. нашелъ что полученный такимъ образомъ спектръ можно считать состоящимъ изъ четырехъ частей: красной, желто-зеленой, голубой и фіолетовой; онъ замѣтилъ вмѣстѣ съ тѣмъ между предѣлами цвѣтовъ, а отчасти и въ самыхъ цвѣтахъ, нѣсколько темныхъ поперечныхъ полосъ.

Наблюдая непосредственно глазомъ, можно получить субъективный спектръ несравненно болѣе чистый чѣмъ какой объективно пролагается на экранѣ. Фраунгоферъ (1814) для этой цѣли помѣщалъ призму предъ объективомъ зрительной трубы, угловыя отклоненія которой можно было измѣрить помощію раздѣленнаго круга (фиг. 402) „Солнечный свѣтъ пропускался въ темную комнату чрезъ узкую щель въ ставнѣ... Труба съ призмой изъ флинта (уголъ которой былъ около 60°) ставилась на разстояніи 24 футовъ отъ ставня *). Призма предъ объективомъ помѣщалась такъ

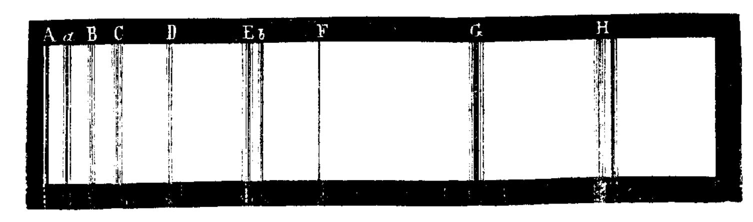
*) Если помѣстить щель въ фокусѣ нѣкотораго собирающаго стекла (для этого пользуются трубой въ которой окуляръ замѣненъ діафрагмой съ прорѣзомъ или щелью), то стекло какъ бы удалить ее на безконечное разстояніе и не будетъ надобности зрительную трубу съ призмой ставить далеко.

что уголъ падающаго луча равнялся углу выходящаго (minimum отклоненія)." Наблюдая спектральное изображеніе Фраунгоферъ сдѣлалъ слѣдующее важное открытіе. Онъ замѣтилъ на протяженіи спектра „почти безчисленное множество сильныхъ и слабыхъ вертикальныхъ полосъ, болѣе темныхъ чѣмъ остальныя части спектра; иныя казались совершенно черными". Окуляръ надо при этомъ слегка переставлять, чтобы съ ясностію различать эти линіи при переходѣ отъ одного цвѣта къ другимъ. Это такъ-называемыя *Фраунгоферовы линіи* или *полосы*. Онѣ свидѣтельствуютъ объ отсутствіи въ солнечномъ пучкѣ лучей опредѣленныхъ преломляемостей. Ихъ обозначаютъ буквами *A*, *B*, *C* и т. д. Нѣкоторыя изображены на фиг. 403. Онѣ имѣютъ большое значеніе при точномъ опредѣленіи показателей преломленія различныхъ лучей спектра.



Фиг. 402.

Такъ какъ лучи разнаго цвѣта преломляются не одинаково, то при опредѣленіи показателя преломленія какого-нибудь вещества должно имѣть въ виду о какого рода лучахъ идетъ дѣло. Но еслибы мы характеризовали изслѣдуемый лучъ его цвѣтомъ, то еще осталась бы неопредѣленность, ибо въ спектрѣ лучи какого-нибудь даннаго цвѣта занимаютъ довольно широкую

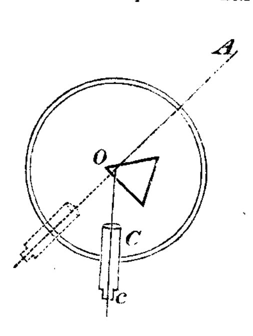


Фиг. 403.

полосу, представляя незамѣтные переходы отъ одного къ другому. Потому, для болѣе точнаго обозначенія, условились опредѣлять показатель преломленія не того или другаго цвѣта, а той или другой фраунгоферовой линіи.

Самое опредѣленіе дѣлается помощію призмы на основаніи слѣдующихъ соображеній. Въ § 248 приведены четыре уравненія опредѣляющія ходъ луча даннаго показателя преломленія n чрезъ призму. Эти уравненія суть: (1) $\sin i = n \,.\, \sin r$; (2) $\sin i' = n \,.\, \sin r'$; (3) $A = r + r'$; (4) $\Delta = i - r + i' - r'$, гдѣ Δ уголъ отклоненія луча (FOD на фиг. 316). Чтобы воспользоваться этими уравненіями для опредѣленія показателя n должно обратить вниманіе на то какіе изъ входящихъ въ нихъ величинъ могутъ быть удобно опредѣлены опытомъ. Таковы величины A и Δ. Первая—уголъ призмы подлежащій прямому измѣренію. Отклоненіе Δ измѣряютъ, опредѣляя уголъ между двумя направленіями трубы (фиг. 404), однимъ когда чрезъ нея прямо смотрятъ на отдаленный предметъ A; другимъ когда наблюденіе производится чрезъ призму O. Что касается до угловъ i, r, i'. r' то опредѣлить ихъ опытомъ было бы весьма трудно. Потому, кромѣ искомой величины n, остаются еще четыре неизвѣстныхъ, а такъ какъ всѣхъ уравненій четыре, то разрѣшеніе невозможно безъ какого-нибудь новаго условія. Такихъ условій можно избрать два: или 1) чтобы призма была въ положеніи *minimum отклоненія*; тогда, какъ уже было упоминаемо, $i = i'$, $r = r'$, и слѣдовательно уравненія будутъ: $\sin i = n \,.\, \sin r$; $A = 2r$; $\Delta = 2(i - r) = 2i - A$, откуда $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin(\Delta/2 + A/2)}{\sin A/2}$;

или 2) чтобы лучъ на первую сторону призмы падалъ перпендикулярно. Тогда $i = r = o$; $\sin i' = n \,.\, \sin r'$; $A = r'$; $\Delta = i' - r' = i' - A$, откуда $n = \frac{\sin i'}{\sin r'} = \frac{\sin(\Delta + A)}{\sin A}$.



Фиг. 404.

§ 291. Цвѣтныя коймы при наблюденіи предметовъ чрезъ призму. При наблюденіи предметовъ чрезъ призму лишь переходы отъ свѣта къ тѣни представляются въ видѣ радужныхъ коймъ; широкія бѣлыя поверхности остаются бѣлыми. Строго говоря призма, вмѣсто одной бѣлой поверхности, кажетъ глазу семь ея цвѣтныхъ изображеній; изъ которыхъ, если, напримѣръ, призма

поставлена ребромъ кверху, красное находится нѣ фіолетовое выше остальныхъ. Но такъ какъ поверхность широкая, то эти семь изображеній въ значительной части совпадаютъ между собою и выступаютъ одно изъ другаго лишь при краяхъ, которые и представляются радужными. Знаменитый германскій поэтъ Гёте, посмотрѣвъ чрезъ призму на бѣлую стѣну, ждалъ увидѣть ее окрашенною и въ томъ что она представляется бѣлою ошибочно думалъ видѣть опроверженіе теоріи о цвѣтахъ Ньютона. Въ случаѣ спектра на экранѣ, если станемъ расширять доставляющую лучи щель, то замѣтимъ что средина спектра сдѣлается бѣлою, коймы же останутся лишь при краяхъ, одна съ преобладаніемъ синяго, другая краснаго цвѣта. Отсюда слѣдуетъ, что если вмѣсто щели имѣемъ одинъ край, то онъ покажется съ цвѣтною, синею или красною, коймой, смотря по тому какой сторонѣ спектра онъ соотвѣтствуетъ. Наконецъ, темная полоса на бѣломъ фонѣ даетъ коймы обратныя тѣмъ какія даетъ бѣлая на темномъ фонѣ.

Такъ какъ при преломленіи чрезъ пластинку съ параллельными стѣнками лучи выходятъ параллельно ихъ начальному направленію, и отдаленные предметы кажутся вовсе не перемѣщенными, а близкіе перемѣщенными незначительно, то въ этомъ случаѣ цвѣтныхъ коймъ не замѣчается. Предметы представляются также безъ всякихъ коймъ въ случаѣ полнаго внутренняго отраженія въ равносторонней призмѣ.

§ 292. Значеніе цвѣтовъ съ точки зрѣнія теоріи волненія. „Ничто, говоритъ Эйлеръ *), такъ не способно

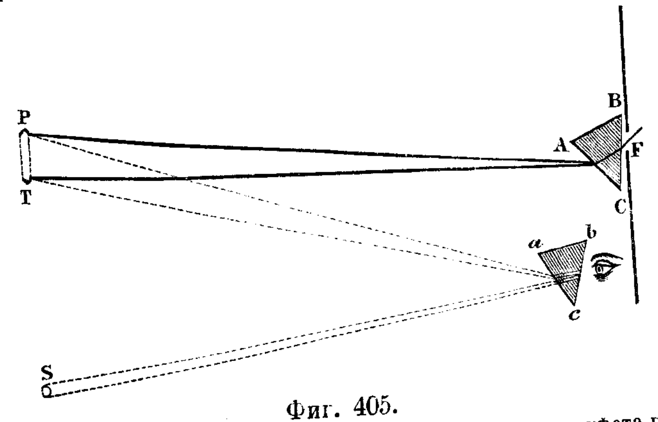
*) Знаменитый математикъ, родившійся въ Базелѣ въ 1707; въ 1727 году, по приглашенію математиковъ Бернулли, вступилъ адъюнктомъ въ Петербургскую Академію Наукъ, которую покинулъ въ сороковыхъ годахъ, переселившись въ Берлинъ, но сохраняя самыя доброжелательныя отношенія къ Академіи и къ Россіи. Въ 1766 году вновь переѣхалъ въ Петербургъ, по приглашенію императрицы Екатерины. Послѣднія годы жизни былъ слѣпой.

разъяснить намъ природу свѣтовыхъ ощущеній какъ прекрасная аналогія между зрѣніемъ и слухомъ. Какое значеніе по отношенію къ уху имѣютъ различные тоны музыки, такое для глаза имѣютъ различные цвѣта. Цвѣта разнятся между собою подобнымъ образомъ какъ разнятся одни отъ другихъ высокіе и низкіе тоны. Но мы знаемъ что высота въ области звука зависитъ отъ числа колебаній дѣйствующихъ на ухо въ продолженіе опредѣленнаго времени и что природа каждаго звука опредѣляется числомъ колебаній въ секунду. Отсюда можно заключить что каждый цвѣтъ соотвѣтствуетъ также опредѣленному числу колебаній, дѣйствующихъ на глазъ. Разница въ томъ что дрожанія производящія звукъ пребываютъ въ грубомъ воздухѣ, тогда какъ свѣтъ и цвѣта передаются чрезъ среду несравненно болѣе тонкую и упругую (эѳиръ)". Число колебаній увеличивается, а длина соотвѣтствующихъ свѣтовыхъ волнъ уменьшается отъ краснаго цвѣта къ фіолетовому. Длина волны краснаго цвѣта равняется приблизительно 640, желтаго 550, фіолетоваго 400 милліоннымъ долямъ миллиметра (или $^1/_{39000}$, $^1/_{46000}$, $^1/_{7500}$ дюйма). Принимая во вниманіе что скорость свѣта есть 290.000 верстъ (300 000 километровъ) въ секунду, можемъ опредѣлить число колебаній, раздѣливъ эту скорость на длину волны. Получимъ для краснаго луча громадное число 470 000 000 000 000. Для фіолетоваго еще большее — 700 000 000 000 000 колебаній въ *одну секунду* дѣйствующихъ на глазъ.

§ 293. Возстановленіе бѣлаго луча изъ цвѣтныхъ. Чтобы пополнить доказательство о составѣ бѣлаго пучка изъ цвѣтныхъ лучей, Ньютонъ, чрезъ соединеніе призматическихъ цвѣтовъ, возстановилъ бѣлый цвѣтъ, заставляя различными средствами падать на одно и то же мѣсто экрана всѣ призматическіе цвѣта

(отраженіемъ отъ вогнутаго зеркала, соединеніемъ чрезъ стекло).

Субъективно (то-есть не на экранѣ, а наблюдая прямо глазомъ), Ньютонъ соединялъ цвѣтные лучи въ бѣлый лучъ, смотря чрезъ призму *abc* (фиг. 405), помѣщенную параллельно разлагающей призмѣ *ABC*, на спектръ *TP* проложенный на экранѣ. Вслѣд-

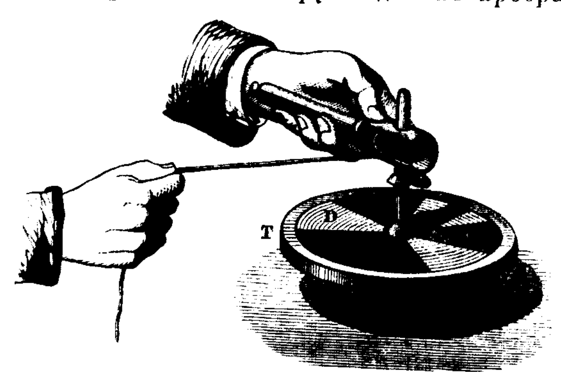


Фиг. 405.

ствіе преломленія призмой лучей идущихъ въ глазъ отъ мѣста гдѣ на экранѣ рисуется спектръ, спектръ этотъ покажется ниже своего мѣста, гдѣ-нибудь въ *S*. При этомъ красный конецъ *T* понизится менѣе чѣмъ фіолетовый *P*, ибо фіолетовые лучи сильнѣе преломляются. Приближаясь и удаляясь съ призмой *abc* можно достичь того что цвѣтныя изображенія составляющія спектръ, перемѣстившись, будутъ казаться на одномъ и томъ же мѣстѣ, и глазъ въ точкѣ *S* увидитъ, вмѣсто спектра, *бѣлое* пятно. „Если стать близко къ экрану то, при *S* будетъ видно спектральное изображеніе удлинненное и окрашенное какъ самый спектръ *TP*; если удаляться, то цвѣта спектра *S* будутъ сближаться между собою и наконецъ исчезнутъ: спектръ при *S* сдѣлается бѣлымъ и круглымъ; если продолжать удаляться, то цвѣта появятся въ обратномъ порядкѣ."

Простѣйшій пріемъ для образованія бѣлаго изображенія чрезъ соединеніе цвѣтныхъ, вошедшій въ употребленіе вскорѣ послѣ Ньютона, представляетъ вращающійся дискъ (фиг. 406) раздѣленный на секторы окрашенные призматическими цвѣтами въ томъ порядкѣ и пропорціи какъ они находятся въ спектрѣ. При достаточной скорости вращенія, впечатлѣнія

смѣшиваются, и кругъ кажется бѣлымъ или по крайней мѣрѣ сѣроватымъ. Опытъ можно показать въ проложеніи, если вращающійся кругъ сдѣланъ прозрачный



Фиг. 406.

(напримѣръ изъ слюды, окрашенной прозрачными красками). Помѣстивъ такой кругъ предъ отверстіемъ электрическаго фонаря, изображеніе его пролагаютъ собирающимъ стекломъ на экранъ, а кругъ приводятъ въ движеніе. Изображеніе кажется бѣлымъ.

§ 294. **Цвѣтные лучи доставляемые цвѣтными средами и цвѣтными поверхностями.** Цвѣта получаемые отъ раздробленія бѣлаго пучка призмой называются *простыми* и производящіе ихъ лучи *однородными*, такъ какъ новымъ преломленіемъ чрезъ призму они не раздробляются и вообще при всѣхъ оптическихъ перемѣнахъ (преломляясь, отражаясь, разсѣваясь) сохраняютъ свой цвѣтъ. Но, кромѣ призматическаго разложенія, цвѣтные лучи доставляются также 1) цвѣтными средами (какъ напримѣръ лучи прошедшіе чрезъ цвѣтное стекло), 2) поверхностями цвѣтныхъ предметовъ. При этомъ не должно думать что всякій цвѣтной лучъ есть однородный и доставляемый имъ цвѣтъ простой. Напротивъ того, наблюдаемые нами цвѣта въ большинствѣ случаевъ суть цвѣта *сложные*, хотя по дѣйствію на глазъ и не отличаются отъ простыхъ *). Такъ, напримѣръ, можетъ быть простой красный цвѣтъ и можетъ быть красный цвѣтъ сложный, и оба между тѣмъ для глаза будутъ представляться совершенно одинаковыми. Чтобы рѣшить состоитъ ли данный цвѣтной пучокъ изъ однородныхъ лучей или есть смѣшеніе лучей разнородныхъ, необходимо прибѣгать къ призматическому разложенію. Такъ, пропуская свѣтъ чрезъ цвѣтныя стекла (прикрывъ, напримѣръ, щель фонаря пластинкой такого стекла) и разлагая прошедшій пучокъ призмой, обыкновенно получаемъ болѣе или менѣе полный спектръ съ преобладаніемъ того цвѣта какой имѣетъ стекло. Есть, впрочемъ, стекла пропускающія приблизительно однородные лучи. Таково для красныхъ лучей стекло окрашенное окисью мѣди. Если прикрыть такимъ стекломъ отверстіе въ ставнѣ или щель фонаря, то дѣйствіе призмы на прошедшіе красные лучи ограничится перемѣщеніемъ изображенія, безъ измѣненія формы и безъ раздробленія, то-есть какъ требуетъ теорія основанная на допущеніи что всѣ лучи пучка имѣютъ одинаковый показатель преломленія **).

Подобнымъ образомъ лучи идущіе отъ поверхности цвѣтныхъ тѣлъ въ большинствѣ случаевъ случаевъ суть также лучи не вполнѣ однородные. Но въ случаѣ густой окраски, лучи даннаго цвѣта могутъ въ такой мѣрѣ преобладать надъ другими, что послѣдніе, при призматическомъ наблюденіи, могутъ остаться незамѣтными. Такъ, первый опытъ, описанный

*) Это важное обстоятельство необходимо имѣть въ виду чтобы не затрудниться при усвоеніи началъ теоріи Ньютона и не вывести ошибочнаго заключенія, что всякій цвѣтной пучокъ есть совокупность лучей той преломляемости какая принадлежитъ простымъ лучамъ этого цвѣта.

**) Другіе простые цвѣта можно произвести: желтый — смѣсью растворовъ сѣрнокислаго никкеля и двухромокислаго кали, оранжевый—растворомъ сѣрносинеродистаго потассія въ водѣ, индиго — сѣрнокислою мѣдью съ углекислымъ аммоніакомъ (прибавивъ двухромокислаго кали, получимъ зеленый).

Ньютономъ въ *Оптикѣ* для доказательства положенія что «лучи различающіеся цвѣтомъ различаются и преломляемостію», состоитъ въ томъ что онъ смотрѣлъ чрезъ призму на узкую полоску, которой одна половина окрашена была въ густой синій, другая въ густой красный цвѣтъ и которая была помѣщена на черномъ фонѣ. Поставивъ призму такъ что ребро ея было вверху и параллельно полоскѣ, Ньютонъ замѣтилъ что полоска представилась значительно выше своего мѣста и раздѣлилась на двѣ части, изъ коихъ голубая стояла выше красной, свидѣтельствуя о большей преломляемости синихъ лучей сравнительно съ красными.

§ 295. **Образованіе сложныхъ цвѣтовъ изъ простыхъ.** Когда на то же мѣсто ретины падаютъ отновременно лучи двухъ или многихъ степеней преломляемости, то происходятъ новыя цвѣтныя ощущенія, причемъ (какъ уже сказано) глазъ не даетъ намъ возможности различить изъ какихъ простыхъ цвѣтовъ состоитъ сложное ощущеніе. Само бѣлое ощущеніе можетъ быть составлено различными путями. Чтобы соединять простые цвѣта въ одномъ мѣстѣ на ретинѣ и производить сложныя цвѣтныя ощущенія можно 1) пользоваться вращающимся кругомъ (§ 294) раздѣленнымъ на части окрашенныя разными цвѣтами: вслѣдствіе сохраненія впечатлѣній произойдетъ сліяніе цвѣтовъ; 2) смотрѣть чрезъ наклонно поставленное прозрачное стекло на цвѣтную поверхность, помѣстивъ горизонтально предъ стекломъ поверхность другаго цвѣта, которая чрезъ отраженіе покажется на томъ же мѣстѣ гдѣ находится поверхность видимая *чрезъ* стекло (подобно какъ въ случаѣ театральныхъ спектровъ); 3) оптическими средствами приводя въ совпаденіе различныя части спектра (отражая ихъ, напримѣръ, помощію отдѣльныхъ маленькихъ зеркалъ). Смѣшеніе различныхъ красокъ, то-есть мелкихъ порошковъ, также доставляетъ сложные цвѣта, но метода эта можетъ вести къ ложнымъ заключеніямъ.

Опыты надъ соединеніемъ цвѣтовъ показываютъ: 1) что бѣлый цвѣтъ можетъ произойти не только отъ соединенія всѣхъ цвѣтовъ спектра, но и отъ соединенія *двухъ* только простыхъ цвѣтовъ. Такъ простой красный цвѣтъ въ соединеніи съ простымъ зеленовато-голубымъ даетъ бѣлый цвѣтъ; также оранжевый съ синеватымъ, желтый съ синимъ. При смѣшеніи красокъ, какъ извѣстно, желтая съ синей даютъ зеленый цвѣтъ, а не бѣлый, но это зависитъ отъ того что цвѣтъ поверхности покрытой смѣсью порошинокъ желтой и синей красокъ зависитъ главнымъ образомъ отъ лучей выходящихъ изъ нѣкоторой глубины слоя, а въ такихъ лучахъ должны преобладать зеленые, ибо они пропускаются тѣми и другими порошинками, тогда какъ прочіе задерживаются либо тѣми, либо другими. 2) Не только бѣлый цвѣтъ, но и вообще *всѣ* оттѣнки цвѣтовъ могутъ быть образованы отъ смѣшенія въ надлежащей пропорціи

трехъ простыхъ цвѣтовъ, а именно краснаго, зеленаго и фіолетоваго; 3) какъ мы уже видѣли, смѣшеніе всѣхъ цвѣтовъ спектра также даетъ бѣлый цвѣтъ. Вообще два цвѣта въ соединеніи образующіе бѣлый цвѣтъ именуются *дополнительными*.

Для объясненія происхожденія простыхъ и сложныхъ цвѣтныхъ ощущаній, Йонгъ, выходя отъ наблюденія Вульстена о четырехъ частяхъ (красной, желто-зеленой, голубой и фіолетовой) явственно выдѣляющихся въ спектрѣ узкой щели разсматриваемой чрезъ призму (§ 291) и принимая въ соображеніе что изъ соединенія желто-зеленаго съ фіолетовымъ можно получить голубой цвѣтъ, выразилъ гипотезу о *трехъ* основныхъ цвѣтныхъ ощущеніяхъ (красномъ, зеленомъ и фіолетовомъ *), которая, какъ показали изслѣдованія Гельмгольтца, съ большою ясностію объясняетъ всѣ явленія въ области цвѣтовъ. Согласно этой теоріи, въ глазѣ есть три рода нервныхъ волоконъ (или точнѣе элементовъ). Раздраженіе первыхъ возбуждаетъ ощущеніе краснаго, вторыхъ зеленаго, третьихъ фіолетоваго (по Максвеллу синяго) цвѣта. Лучи разной длины волны (разной преломляемости) дѣйствуютъ не одинаково на эти элементы. Лучи съ длинными волнами дѣйствуютъ главнымъ образомъ на элементы краснаго ощущенія, съ короткими—преимущественно на фіолетовые элементы; средней длины—на зеленые. Такимъ образомъ простой красный лучъ дѣйствуетъ сильно на красночувствующіе элементы, слабо на два другіе рода и т. д. При усиленномъ дѣйствіи и послѣдніе достаточно возбуждены, цвѣтъ приближается къ бѣлому (это подтверждается опытомъ). Одно изъ важныхъ оправданій теоріи Йонга и Гельмгольтца есть существованіе недостатка зрѣнія именуемаго дальтонизмомъ (Дальтонъ имѣлъ этотъ недостатокъ). Цвѣтныя ощущенія лицъ имѣющихъ дальтонизмъ сводятся къ двумъ основнымъ цвѣтамъ. Они не различаютъ, напримѣръ, вишень отъ листьевъ. Парализованы, какъ показываютъ изслѣдованія, элементы краснаго ощущенія.

§ 296. **Субъективные цвѣта.** Если пристально смотрѣть, въ продолженіе нѣкотораго времени, на цвѣтной предметъ, напримѣръ на красную облатку, синее изображеніе вазы и т. п. и потомъ перенести взоръ на бѣлую поверхность, то намъ покажется на ней изображеніе предмета въ дополнительномъ цвѣтѣ: зеленоватая облатка, желтоватая ваза и т. д. Величина кажущагося изображенія зависитъ отъ разстоянія на какомъ бѣлая поверхность находится отъ глаза. Вмѣсто того чтобы переносить взоръ, можно удалить предметъ (если онъ помѣщенъ на бѣломъ фонѣ): снять, напримѣръ облатку. На мѣстѣ

*) Согласно англійскому ученому Максвеллу (1856) правильнѣе принять красный, зеленый и синій.

которое она занимала будетъ видимо ея изображеніе въ дополнительномъ цвѣтѣ. Явленіе объясняется утомленіемъ глазнаго нерва, который, какъ и другіе нервы, послѣ продолжительнаго дѣйствія становится менѣе воспріимчивымъ къ ощущеніямъ. То мѣсто ретины гдѣ рисуется изображеніе красной облатки становится мало чувствительнымъ къ дѣйствію красныхъ лучей, и когда взоръ переносится на бѣлую поверхность, и на это мѣсто падаютъ бѣлые лучи, глазъ не различаетъ ихъ составную красную часть, съ живостію ощущая остальныя. Но если изъ бѣлаго пучка отнять красную часть, то совокупность остальныхъ лучей произведетъ ощущеніе зеленоватаго цвѣта, дополнительнаго до краснаго.

Что дѣйствіемъ свѣта нервная оболочка глаза скоро утомляется,—можно подтвердить слѣдующимъ опытомъ. Положивъ предъ собою бѣлую бумажную полоску и закрывъ половину ея черною бумагой, будемъ, нѣкоторое время, пристально смотрѣть на нее и потомъ снимемъ черную бумагу; вновь открывшаяся часть покажется значительно свѣтлѣе той на которую мы уже смотрѣли нѣкоторое время, такъ какъ мѣсто ретины принимающее изображеніе послѣдней успѣло утомиться.

Въ случаѣ яркаго предмета субъективныя изображенія замѣчаются и при закрытыхъ глазахъ. Если дѣйствіе было кратковременно, то явленіе объясняется просто сохраненіемъ впечатлѣній, и предметъ тогда представляется въ своемъ цвѣтѣ, а не въ дополнительномъ. Если же глазной нервъ утомился, то наблюдатель, закрывъ глаза, видитъ дополнительное изображеніе. Явленіе зависитъ отъ общаго раздраженія нерва. Пусть дѣйствующіе лучи были красные. Они, при значительномъ напряженіи, раздражаютъ элементы всѣхъ трехъ цвѣтныхъ ощущеній, но утомленіе простирается преимущественно на красные, и когда глаза закрыты, въ общемъ продолжающемся возбужденіи красный цвѣтъ какъ бы отсутствуетъ.

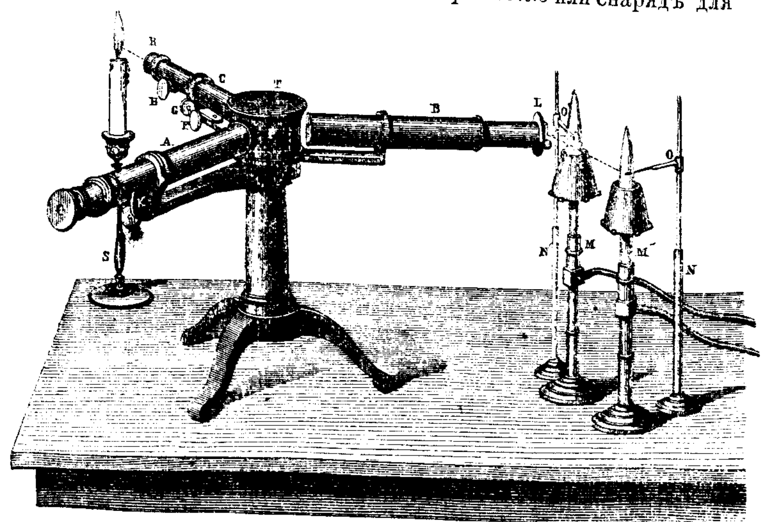
Наконецъ, есть субъективныя цвѣтныя явленія зависящія не отъ утомленія глаза, но отъ иныхъ причинъ, не довольно уясненныхъ. Таковы явленія *контраста цвѣтовъ* вообще и въ особенности такъ-называемыхъ *цвѣтныхъ тѣней*. Помѣстимъ рядомъ двѣ бумажныя цвѣтныя полоски, одну, напримѣръ, желтую, другую красную, и на нѣкоторомъ разстояніи отъ первой другую желтую, отъ второй другую красную. Тогда какъ удаленныя полоски покажутся съ своими цвѣтами, рядомъ лежащія обнаружатъ взаимнодѣйствіе, и желтая покажется съ зеленоватымъ оттѣнкомъ: красная полоска какъ бы наведетъ на близь лежащую желтую свой дополнительный, зеленоватый, цвѣтъ; красная приметъ пурпуровый видъ, отъ прибавленія синяго оттѣнка (дополнительнаго до желтаго). *Цвѣтныя тѣни* замѣчаются, если, напримѣръ, впустить въ темную комнату немного дневнаго свѣта и, помѣстивъ предъ бѣлымъ экраномъ палку, освѣтить ее въ то же время свѣтомъ свѣчи или лампы.

Тѣнь палки бросаемая дневнымъ свѣтомъ, будучи освѣщена пламенемъ лампы или свѣчи, имѣющимъ вообще оранжевый оттѣнокъ, покажется оранжевою, но тѣнь отъ лампы освѣщенная бѣлымъ дневнымъ свѣтомъ будетъ не сѣрая, а *голубая* (дополнительнаго цвѣта къ оранжевому). Еще рѣзче можно замѣтить цвѣтныя тѣни если помѣстить электрическій свѣтъ въ фонарѣ изъ цвѣтныхъ стеколъ, напримѣръ зеленыхъ (вообще пропустивъ яркій лучъ чрезъ цвѣтное стекло) и бросить на экранъ тѣни отъ палки, освѣщенной въ одно время лампою и электрическимъ свѣтомъ. Тѣнь палки отъ электрическаго свѣта и тѣнь самой лампы покажутся рѣзко розовыми, хотя никакого розоваго источника освѣщенія нѣтъ. Цвѣтныя тѣни главная причина затрудненія при сравненіи силы свѣта двухъ источниковъ не одинаковаго цвѣтнаго оттѣнка (§ 223).

§ 297. Спектры разнаго рода. Спектральный анализъ и его приложенія. Изученіе спектровъ доставляемыхъ призматическимъ разложеніемъ лучей разныхъ свѣтящихся источниковъ привело ко многимъ результатамъ чрезвычайной важности, нашедшимъ приложеніе въ химіи и астрономіи. Оказалось что изученіе помощію призмы лучей даннаго свѣтящагося тѣла можетъ доставить точныя заключенія о строеніи и составѣ этого тѣла. Вообще призматическіе спектры можно раздѣлить на три рода. 1) Спектръ перваго рода есть спектръ *непрерывный*, то-есть цвѣтной на всемъ протяженіи съ незамѣтными переходами отъ одного цвѣта къ другому. Таковы вообще спектры доставляемые раскаленными *твердыми* или *жидкими* тѣлами: углями электрическаго фонаря, известковою или мѣловою палочкой Друммондова свѣта, платиновою проволокой раскаленною гальваническимъ токомъ, расплавленными металлами, мелкими пылинками угля въ пламени свѣчи, газа и т. д.

2) Спектръ втораго рода есть спектръ состоящій изъ отдѣльныхъ цвѣтныхъ полосъ, раздѣленныхъ темными промежутками. Такой спектръ доставляютъ раскаленные *газы* или *пары*. Вводя въ слабо свѣтящееся пламя спиртовой лампы или газовой горѣлки Бунзена (гдѣ газъ сгораетъ при значительномъ притокѣ воздуха) различныя вещества, напримѣръ, соли натрія, литія, стронція и т. п., замѣчаемъ что пламя окрашивается. Наблюдая чрезъ призму узкое отверстіе поставленное предъ такимъ пламенемъ, увидимъ спектръ изъ нѣсколькихъ цвѣтныхъ полосъ. Особенно характеристиченъ спектръ пламени окрашеннаго натріемъ (помощію, напримѣръ, поваренной соли). Спектръ этотъ состоитъ изъ одной желто-оранжевой полосы. Кусочки металловъ, будучи помѣщаемы на нижній уголь электрическаго фонаря (уголь берется для этого опыта довольно толстый, съ чашкообразнымъ углубленіемъ) и обращаясь въ паръ, подъ вліяніемъ сильнаго жара, въ пространствѣ между углями, окрашиваютъ дугу гальваническаго свѣта и даютъ спектры состоящіе изъ яркихъ цвѣтныхъ полосъ, характеристическихъ для каждаго

металла. Пропуская электрическій разрядъ чрезъ стеклянную трубку, изъ которой вытянутъ воздухъ и гдѣ въ разрѣженномъ состояніи находится какое-либо газообразное вещество (такъ называемыя Гейслеровы трубки, по имени извѣстнаго мастера въ Боннѣ), замѣчаемъ что внутренность трубки становится свѣтящеюся. Анализуя свѣтъ этотъ призмой, получаемъ спектръ соотвѣтствующій заключающимся въ трубкахъ газообразнымъ тѣламъ, приведеннымъ электрическимъ токомъ въ раскаленное свѣтящееся состояніе. Спектръ металловъ можно также получить, анализуя призмой свѣтъ электрической искры извлекаемой изъ изслѣдуемаго металла. Прибавимъ что спектръ даннаго тѣла мѣняется въ зависимости отъ температуры и давленія. Такъ какъ въ спектрѣ каждаго тѣла находятся свои характеристическія полосы, то введя въ пламя горѣлки вещество неизвѣстнаго состава, можемъ, изучая линіи доставляемаго ими спектра, опредѣлить его составъ. На этомъ основывается *спектральный химическій анализъ*, въ нѣкоторыхъ случаяхъ оказывающійся чрезвычайно чувствительнымъ (напримѣръ относительно натрія). Химическій спектральный анализъ позволилъ Бунзену открыть два новыхъ металла рубидій и цезій. Этимъ же путемъ англійскій ученый Круксъ (Crookes) открылъ металлъ талій, дающій яркую зеленую полосу. Фиг. 407 даетъ понятіе о *спектроскопѣ* или снарядѣ для



Фиг. 407.

призматическаго анализа. Лучи прошедшіе чрезъ узкую щель трубки LB и преломленные призмою вступаютъ въ зрительную трубу A. Труба C имѣетъ на концѣ раздѣленную скалу освѣщенную свѣчкой и видимую въ совпаденіи со спектромъ чрезъ трубу A, вслѣдствіе отраженія отъ передней поверхности призмы. Цифры скалы служатъ для опредѣленія положенія спектральныхъ полосъ.

3) Спектръ третьяго рода представляетъ собою радужную полосу, подобную спектру перваго рода, но усѣянную тонкими темными линіями. Чтобы линіи эти были замѣтны, спектръ долженъ быть достаточно чистымъ. Таковъ солнечный спектръ съ его фраунгоферовыми линіями. Кирхговъ указалъ что значительная часть этихъ линій находится па тѣхъ самыхъ мѣстахъ, гдѣ были бы свѣтлыя полоски, еслибы тѣмъ же спектральнымъ аппаратомъ разлагались лучи отъ раскаленнаго газообразнаго источника, заключающаго въ себѣ нѣкоторые металлы. Такъ, болѣе 400 темныхъ линій солнечнаго спектра соотвѣтствуютъ свѣтлымъ линіямъ спектра желѣза (богатаго такими линіями); семь свѣтлыхъ полосъ спектра мѣди, четыре полосы водорода, болѣе сотни титана и т. д. имѣютъ соотвѣтствующія *темныя* линіи въ солнечномъ спектрѣ. Для сравненія положенія полосокъ въ спектрѣ солнечномъ и спектрѣ различныхъ тѣлъ удобнѣе всего произвести одновременное наблюденіе двухъ спектровъ, заставивъ чрезъ одну часть щели проходить солнечные лучи, чрезъ другую лучи сравниваемаго источника. Происхожденіе темныхъ линій въ спектрѣ третьяго рода объясняется поглощеніемъ нѣкоторыхъ лучей свѣтящагося источника газообразными средами, чрезъ которыя эти лучи проходятъ. Происхожденіе и законъ такого поглощенія указаны Кирхгофомъ. „Чтобы прямымъ опытомъ провѣрить, говоритъ онъ, не разъ указанное совпаденіе полосы натрія съ полосой D солнечнаго спектра, я образовалъ солнечный спектръ умѣренной яркости и помѣстилъ предъ щелью пропускавшею лучи—пламя натрія. Я увидѣлъ что темная полоса D замѣнилась свѣтлою... Чтобы найти насколько можно усилить яркость солнечнаго спектра, не теряя изъ виду натріеву линію, я пропустилъ чрезъ натріево пламя въ щель снаряда полный солнечный лучъ и, къ удивленію, увидѣлъ что *темная* полоса D выступила съ чрезвычайною силой. Я замѣнилъ солнечный спектръ Друммондовымъ, который какъ вообще спектръ всякаго раскаленнаго твердаго или жидкаго тѣла, не имѣетъ темныхъ полосъ, но когда этотъ спектръ бывалъ пропущенъ чрезъ пламя съ поваренною солью, то въ спектрѣ на мѣстѣ натріевой полосы показывалась темная полоса. То же было когда вмѣсто раскаленнаго известковаго цилиндра я бралъ платиновую проволоку, раскаляя ее пламенемъ или доводя дѣйствіемъ электрическаго тока близко къ точкѣ плавленія. Явленія эти легко объясняются, если принять что пламя натрія поглощаетъ лучи именно той преломляемости какія само испускаетъ, а для всѣхъ другихъ прозрачно.“ Пламя натрія, поглотивъ яркіе

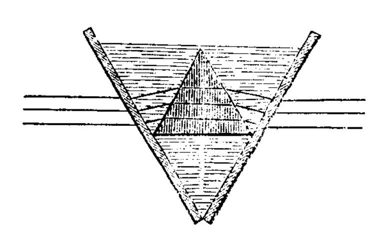
оранжевые лучи раскаленнаго мѣла или раскаленной платины, вмѣсто ихъ пролагаетъ на соотвѣтствующее мѣсто спектра собственный, сравнительно весьма слабый, оранжевый свѣтъ, и мѣсто это кажется темнымъ на яркомъ фонѣ спектра. Обращеніе спектра натрія можно также весьма наглядно обнаружить, положивъ на нижній уголь электрическаго фонаря кусочекъ чистаго натрія величиной съ горошину. Вокругъ ярко раскаленнаго сгорающаго кусочка образуется натріевая атмосфера, поглощающая оранжевые лучи раскаленной части (испускающей лучи разнообразной преломляемости, какъ вообще твердыя и жидкія тѣла) и на экранѣ появляется яркій спектръ съ рѣзкою черною полосой на мѣстѣ полосы натрія. Когда кусокъ прогоритъ, и лучи доставляются лишь раскаленною натріевою атмосферой, спектръ принимаетъ видъ обыкновеннаго спектра натрія, то-есть представляется въ видѣ яркой оранжевой полосы. Бунзену и Кирхгофу удалось также обратить въ темныя полосы свѣтлыя полосы литія, стронція, барія и кальція. Явленіе объясняется закономъ указаннымъ Кирхгофомъ (законъ этотъ относится ко всѣмъ вообще лучамъ теплоты, какъ дѣйствующимъ на глазъ такъ и темнымъ) и согласно которому газообразное тѣло поглощаетъ именно тѣ лучи которые само способно испускать, будучи приведено въ свѣтящееся состояніе. Явленіе это имѣетъ аналогію въ области звука: натянутая струна, когда къ ней приходятъ звуковыя волны періода колебаній равнаго періоду ея собственныхъ качаній, принимаетъ дѣйствіе (поглощаетъ волны) и сама приходитъ въ дрожаніе, испуская волны той же длины. Такимъ образомъ „раскаленный газъ въ спектрѣ котораго отсутствуютъ цвѣта находящіеся въ спектрѣ другаго тѣла той же температуры вполнѣ прозраченъ для лучей этихъ цвѣтовъ; на лучи же такого цвѣта какой есть въ его спектрѣ оказываетъ тѣмъ сильнѣйшее поглощеніе, чѣмъ значительнѣе яркость этого цвѣта въ его спектрѣ". Чтобъ обнаружилось обращеніе спектра, то-есть чтобы появилась черная полоса на мѣстѣ гдѣ газъ даетъ свѣтлую, надо чтобы „раскаленное тѣло (лучи котораго поглощаются газомъ) имѣло температуру *выше* чѣмъ температура раскаленнаго газа".

Явленіе обращенія спектра объясняетъ происхожденіе фраунгоферовыхъ линій и указываетъ средство опредѣлить въ атмосферѣ солнца и другихъ звѣздъ присутствіе тѣхъ или другихъ земныхъ тѣлъ. Если темныя линіи спектра солнца или звѣзды совпадаютъ со свѣтлыми линіями спектра какого-либо извѣстнаго тѣла, то это есть признакъ что въ раскаленной атмосферѣ солнца или звѣзды присутствуетъ паръ этого тѣла, поглощающій соотвѣтствующіе этимъ линіямъ лучи испускаемые болѣе раскаленною центральною частью. Отсюда цѣлая новая область науки—солнечная и звѣздная химія (труды англійскихъ ученыхъ Геггинса (Huggins), Локьера; римскаго астронома Секки, французскаго ученаго Жансана (Janssen). Доказано присутствіе на солнцѣ желѣза, кальція,

магнія, натрія и другихъ металловъ; также цѣлой атмосферы раскаленнаго водорода облекающей солнце. Звѣзда Альдебаранъ содержитъ водородъ, натрій, кальцій, желѣзо, висмутъ, теллурій, сюрьму и т. д. Нѣкоторыя туманности при спектральномъ изслѣдованіи обнаружили спектръ изъ свѣтлыхъ полосъ, что доказываетъ ихъ газообразное состояніе (водородъ и азотъ).

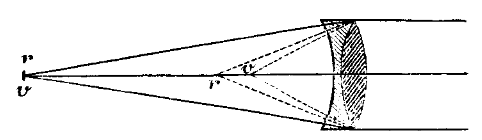
§ 298. Ахроматическія призмы и стекла. Если за одной призмой, обращенною, напримѣръ, основаніемъ внизъ, поставить другую *изъ иного вещества* и обращенную основаніемъ въ противную сторону (вверхъ въ нашемъ случаѣ), то вторая будетъ оказывать дѣйствіе противоположное съ первою, и ее можно выбрать съ такимъ угломъ (меньшимъ или бо́льшимъ чѣмъ уголъ первой, смотря по тому изъ болѣе преломляющаго или изъ менѣе преломляющаго матеріала она состоитъ), что отклоненіе произведенное первою призмой уничтожится дѣйствіемъ второй, и лучъ, пройдя чрезъ совокупность этихъ призмъ, выйдетъ параллельно первоначальному направленію. Ньютонъ полагалъ что уничтоженіе второю призмой дѣйствія первой происходитъ одновременно для лучей всѣхъ цвѣтовъ, и пучокъ выходящій долженъ быть бѣлымъ, если таковымъ былъ первоначальный. Наоборотъ, если вторая призма или не совсѣмъ уничтожаетъ дѣйствіе первой, или пересиливаетъ его, то лучъ, выходя отклоненнымъ, долженъ представлять призматическое разложеніе: быть окрашеннымъ. Другими словами, по мнѣнію Ньютона, отклоненіе не сопровождающееся раздробленіемъ невозможно, преломляется ли свѣтъ одною призмой или совокупностію нѣсколькихъ, хотя бы и изъ разнаго матеріала. Отсюда слѣдовало бы, —такъ какъ дѣйствіе объектива телескопа основывается на подобномъ призматическому отклоненіи лучей къ болѣе толстой части стекла,—что объективъ *ахроматическій*, то-есть дающій изображенія свободныя отъ цвѣтныхъ коймъ, —невозможенъ. Противъ справедливости этихъ положеній возсталъ Эйлеръ, указавшій теоретическую возможность ахроматизма. Англійскій строитель оптическихъ инструментовъ Доллондъ, въ началѣ рѣзко высказавшійся противъ мнѣнія Эйлера, въ 1757 году сдѣлалъ слѣдующій опытъ, практически доказавшій возможность ахроматизма. „Онъ склеилъ краями, сказано въ описаніи сообщенномъ Лондонскому Королевскому Обществу, двѣ стеклянныя пластинки съ параллельными стѣнками, такъ что образовался призматическій или клинообразный сосудъ (фиг. 408) узкимъ концомъ книзу; внутрь вложилъ стеклянную призму (въ 60°) однимъ изъ реберъ кверху и наполнилъ свободное пространство водой, такъ что лучъ прошедшій чрезъ обѣ преломляющія среды преломлялся только вслѣдствіе разности двухъ дѣйствій. Найдя что преломленіе въ водѣ можетъ или побѣждать преломленіе въ стеклѣ или уступать ему, онъ уменьшалъ и увеличивалъ уголъ пластинокъ до тѣхъ поръ пока сдѣлалъ противоположныя дѣйствія равными; въ этомъ убѣдился, смотря чрезъ обѣ призмы на какой-нибудь предметъ:

когда предметъ не казался ни выше ни ниже настоящагo мѣ-



Фиг. 408.

ста, это было признакомъ что преломленія равны и выходящіе лучи параллельны падающимъ. Согласно господствующему мнѣнію, предметъ долженъ бы казаться въ натуральномъ видѣ (безъ коймъ)... Но опытъ показываетъ ошибочность этого мнѣнія... ибо предметъ, хотя лучи не преломлялись, представлялся съ цвѣтными коймами, одинаковыми съ тѣми какія бываютъ когда смотримъ на него чрезъ одну стеклянную призму съ угломъ около 30° ". Такимъ образомъ дѣйствіе воды, уничтоживъ *отклоненіе* пучка, не уничтожило *раздробленія* лучей, хотя и уменьшило его (ибо койма сдѣлалась меньше чѣмъ еслибы дѣйствовала одна стеклянная призма съ угломъ въ 60°). Если еще увеличить уголъ водяной призмы, такъ что дѣйствіе воды сдѣлается преобладающимъ и лучъ получитъ отклоненіе, то койма должна продолжать уменьшаться пока исчезнетъ. Еслибъ и послѣ того мы продолжали увеличивать уголъ сосуда, то койма должна появиться, но съ обратнымъ расположеніемъ цвѣтовъ: воспреобладало бы раздробленіе причиняемое водяною призмой. Сдѣлать такой опытъ съ широкимъ сосудомъ, вмѣщавшимъ призму въ 60° было неудобно. Доллондъ взялъ узкую стеклянную призму въ 9° и заключилъ ее въ сосудъ съ водой какъ въ предыдущемъ опытѣ. Увеличивая уголъ стеклянныхъ пластинокъ сосуда, онъ получилъ лучъ отклоненный кверху, но *неокрашенный*. Доказавъ такимъ образомъ возможность ахроматической призмы, Доллондъ сталъ изыскивать средство сложить ее изъ двухъ призмъ изъ *твердаго* матеріала, и для того сталъ изслѣдовать, по отношенію къ преломленію и раздробленію, различные сорты стекла. Желтоватое венеціанское стекло и англійскій кронъ оказались почти одинаковыми, но бѣлый хрусталь или англійскій флинтъ обнаружилъ и болѣе сильное преломленіе и значительно болѣе широкія коймы, такъ что и при равномъ отклоненіи луча (а для этого призма изъ флинта должна быть съ болѣе острымъ угломъ чѣмъ призма изъ крона) койма производимая флинтомъ шире коймы производимой крономъ. Соединяя двѣ призмы, одну изъ крона, съ болѣе широкимъ угломъ, и другую изъ флинта, съ болѣе острымъ, такъ чтобъ онѣ были обращены вершинами въ противоположныя стороны, можно получить *ахроматическую* призму, отклоняющую лучи къ основанію болѣе широкой призмы, но не раздробляющую ихъ на цвѣта. Подобнымъ образомъ можно,—соединяя собирающее стекло изъ крона съ разсѣвающимъ изъ флинта,—составить ахроматическій объективъ. Призматическое раздробленіе луча верхнею половиной собирающаго стекла (фиг. 409) уничтожается обратнымъ дѣйствіемъ верхней половины разсѣвающаго стекла; тоже



Фиг. 409.

происходитъ и въ нижней части, и весь объективъ представляетъ подобіе двухъ сложенныхъ основаніями ахроматическихъ призмъ. Еслибы не было разсѣвающаго флинта, то бѣлый пучокъ параллельныхъ лучей далъ бы фокусъ фіолетовыхъ лучей въ точкѣ v, ближе фокуса r красныхъ. Разсѣвающее стекло ослабляетъ дѣйствіе собирающаго, и лучи сходятся дальше отъ стекла; но при этомъ ослабленіе дѣйствуетъ сильнѣе на фіолетовые лучи чѣмъ на красные, оттого отдѣльные фокусы ихъ сближаются между собою, и можно подобрать второе стекло такъ что они совпадутъ въ одной точкѣ. Получимъ ахроматическій объективъ, дающій изображенія безъ замѣтныхъ коймъ.

§ 299. Нагрѣвающее дѣйствіе лучей разнаго цвѣта. Термическое изученіе спектра. Темные лучи спектра открытые Гершелемъ. „Испытывая (въ 1800), говоритъ Гершель, различныя средства для удобнѣйшаго наблюденія солнца помощію большихъ телескоповъ, я пробовалъ различныя соединенія цвѣтныхъ стеколъ, съ цѣлью затмить изображеніе этого свѣтила. Я былъ удивленъ, найдя что съ нѣкоторыми испытывалъ ощущеніе теплоты, хотя они мало доставляли свѣта, тогда какъ другія доставляли много свѣта, почти не возбуждая ощущенія теплоты. И такъ какъ, при этихъ разныхъ комбинаціяхъ, солнце представлялось различно окрашеннымъ, то мнѣ пришло на мысль что лучи раздѣленные призмой могутъ имѣть различную нагрѣвательную способность.“ Чтобы повѣрить эту мысль, Гершель бросилъ на столъ

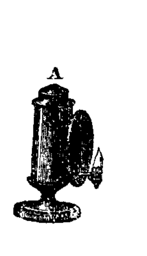
солнечный спектръ, помощію призмы поставленной у горизонтальной щели въ ставнѣ; положилъ на столѣ, подъ небольшимъ наклономъ, три маленькихъ термометра съ шариками зачерненными тушью и помѣщалъ ихъ такъ что шарики приходились въ разныхъ цвѣтахъ спектра, или одинъ въ цвѣтномъ мѣстѣ, другіе въ тѣни. Обнаружилось что красные лучи грѣютъ значительно сильнѣе чѣмъ зеленые и фіолетовые, и что вообще нагрѣвающее дѣйствіе увеличивается постепенно отъ фіолетоваго конца къ красному (тогда какъ свѣтъ наибольшее напряженіе свое имѣетъ въ желтомъ мѣстѣ спектра). Далѣе, Гершель, въ яркій солнечный день, сдѣлалъ важное наблюденіе, что нагрѣвающее дѣйствіе лучей раздробленныхъ призмой не ограничивается предѣломъ видимаго спектра: въ темномъ мѣстѣ, за предѣломъ краснаго цвѣта, термометръ продолжалъ показывать повышеніе температуры и будучи „на полдюйма отъ видимаго краснаго края поднялся на $6\frac{1}{2}$° (Фар.) въ 10 минутъ.... онъ поднялся на 3° когда отстоялъ на $1\frac{1}{2}$ дюйма отъ этого края“. За предѣломъ фіолетоваго цвѣта никакого нагрѣвающаго дѣйствія не было замѣчено.

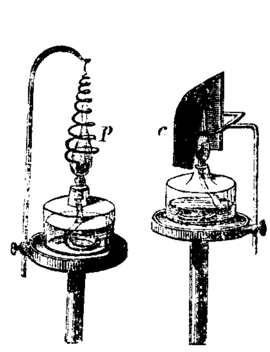
§ 300. Метода Меллони для изученія разнородности лучей идущихъ отъ источниковъ теплоты. Эпоху въ исторіи ученія о лучахъ теплоты составили изслѣдованія италіянскаго физика Меллони *), произведенныя въ тридцатыхъ и сороковыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія. Меллони изучалъ разнородность лучей испускае-

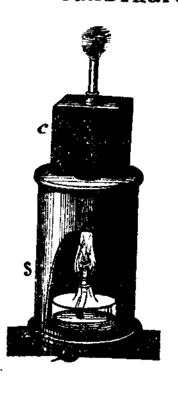
*) Родомъ изъ Пармы, сотрудникъ, въ концѣ двадцатыхъ годовъ нынѣшняго столѣтія, извѣстнаго физика Нобили. По политическимъ обстоятельствамъ оставивъ Италію, поселился въ Парижѣ; въ 1833 году представилъ свои изслѣдованія въ Парижскую Академію Наукъ, но они были приняты холодно и недовѣрчиво. Извѣстность Меллони началась со времени признанія его открытій Лондонскимъ Королевскимъ Обществомъ, давшимъ ему въ 1834 году медаль Румфора (главнымъ образомъ благодаря свидѣтельству шотландскаго физика Форбеса, видѣвшаго опыты Меллони въ Парижѣ).

мыхъ нагрѣтыми тѣлами не помощію призмы, а другимъ пріемомъ: пропуская эти лучи чрезъ пластинки разныхъ веществъ и измѣряя ихъ нагрѣвающее дѣйствіе помощію своего (§ 238) термо-электрическаго столбика. Впрочемъ для показанія наиболѣе рѣзкихъ изъ числа опытовъ Меллони можно, согласно его указанію, пользоваться простымъ воздушнымъ термометромъ (фиг. 410), съ зачерненнымъ шарикомъ, снабженнымъ цилиндрическою оправой изъ полированнаго металла, которая открывается съ той стороны откуда идутъ лучи „и служитъ для предохраненія шарика отъ лучистой теплоты наблюдателя и вообще кружающихъ термометръ тѣлъ“. Въ качествѣ источниковъ теплоты Меллони употреблялъ: а) масляную лампу съ рефлекторомъ (фиг. 411) но безъ стеклянной трубки, дабы между источникомъ и пластинкой не было постороннихъ тѣлъ кромѣ воздуха, пропускающаго лучи безъ замѣтнаго

Фиг. 410.



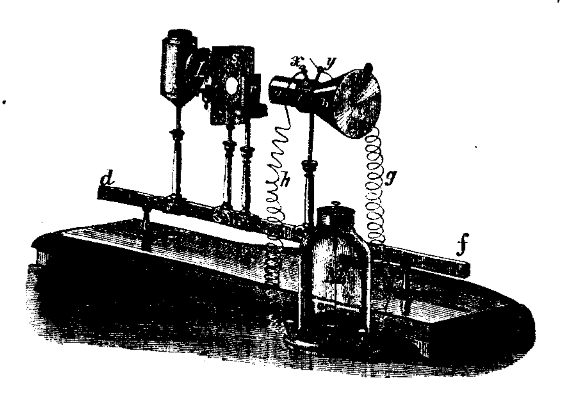




Фиг. 411 Фиг. 412. Фиг. 413. Фиг. 414.

поглощенія: лампа Локателли; в) платиновую спираль раскаляемую въ пламени спиртовой лампы (фиг. 412) и

представляющую собою раскаленное тѣло менѣе высокой температуры чѣмъ пламя масляной лампы; с) мѣдную зачерненную пластинку (фиг. 413) нагрѣваемую сзади лампой; такая пластинка представляетъ собою темный источникъ теплоты при температурѣ около 400°; д) кубъ съ металическою зачерненною поверхностію (фиг. 414) наполненный кипящею водой: темный источникъ сравнительно невысокой температуры 100°. Каждый источникъ ставился на такомъ разстояніи отъ столбика чтобы его *прямое* нагрѣвающее дѣйствіе было одинаково съ дѣйствіемъ другихъ. Для этого источникъ болѣе высокой температуры должно ставить дальше отъ столбика, болѣе низкой ближе къ столбику, пока отклоненіе стрѣлки снаряда будетъ одинаково (около 30°). Количество лучей падающихъ на столбикъ отъ каждаго изъ источниковъ можно, слѣдовательно, считать одинаковымъ. Меллони обозначалъ его числомъ 100. Когда на пути лучей стояла пластинка изслѣдуемаго тѣла (фиг. 415), отклоненіе стрѣлки было меньше. Допустимъ, напримѣръ, что оно уменьшилось вдвое и стало 15°. Заключаемъ что количество падающихъ на столбикъ лучей сдѣлалось вдвое меньше: половина задержа-



Фиг. 415.

на пластинкой *). Прошло, слѣдовательно, 50 лучей. Слѣдующая таблица заключаетъ въ себѣ нѣкоторые изъ результатовъ опытовъ Меллони, произведеныхъ сказаннымъ способомъ. Изъ ста падающихъ лучей, слѣдующія тѣла, въ формѣ пластинокъ въ 2,6 милиметра толщиной, пропускаютъ:

	отъ лампы Локателли.	отъ раскал. платины.	отъ мѣди при 400°.	отъ мѣди при 100°.
Каменная соль . .	92	92	92	92
Сѣра (желтая Сицилійская)	74	77	60	54
Бериллъ (желтозеленоватый)	54	23	13	0
Плавиковый шпатъ (зеленоватый) . .	46	38	24	20
Стекло (прозрачн.)	39	24	6	0
Горный хрусталь (прозрачный) . .	38	28	6	4
Горный хрусталь (дымчатый	37	28	6	0
Квасцы	9	2	0	0
Ледъ	6	0,5	0	0
Черное стекло **) (въ 1 миллиметръ толщиной) . . , .	26	25	12	0

§ 301. Замѣчательное свойство каменной соли. Ученіе Меллони о теплоцвѣтности. „Первый результатъ поражающій воображеніе при разсмотрѣніи этой таблицы, говоритъ Меллони, есть обильное пропусканіе теплоты пластинками каменной соли и особенно постоянство этого свойства для всякаго рода тепловыхъ лучеиспусканій. Это явленіе великой важности, ибо его одного достаточно чтобы доказать какъ ошибочна была идея какую обыкновенно

*) Отдѣльнымъ изслѣдованіемъ было доказано что число градусовъ отклоненія пропорціонально нагрѣвающему дѣйствію или количеству падающихъ лучей.

**) Число соотвѣтствующее черному стеклу не находится въ таблицѣ Меллони. Взято изъ *Гелерова Словаря*, X, 579.

составляли себѣ о природѣ лучей теплоты идущихъ отъ источниковъ невысокой темпертуры. Видя нынѣ что такіе лучи проходятъ чрезъ твердое тѣло съ такою же легкостію и въ такомъ же обиліи какъ лучи пламени и раскаленыхъ тѣлъ, необходимо заключить что различные роды лучистой теплоты существенно не разнятся между собою, и что неодинаковость ихъ прохожденія чрезъ стекло и другія тѣла свидѣтельствуетъ о ихъ *характеристическихъ особенностяхъ* полагающихъ между ними различіе подобнаго рода какъ то какое есть между лучами свѣта различныхъ цвѣтовъ. Такимъ образомъ тѣла нагрѣтыя до болѣе или менѣе высокихъ температуръ суть такъ-сказать источники *теплоты разнаго цвѣта.* Стекло и другія прозрачныя тѣла, пропуская эти цвѣта теплоты въ разной пропорціи суть, по отношенію къ теплотѣ, цвѣтныя средины; каменная соль есть среда безцвѣтная по отношенію къ теплотѣ, одинаково пропускающая чрезъ себя теплые лучи всякаго цвѣта... Назовемъ *теплоцвѣтностію (термохрозъ)* это свойство среды и тепловыхъ лучей, которое мы сравнили съ цвѣтами тѣлъ и лучей свѣта... Видимъ далѣе что порядокъ въ какомъ слѣдуютъ тѣла относительно ихъ *прозрачности для лучей теплоты* не тотъ въ какомъ они находятся относительно *прозрачности для лучей свѣта...* Квасцы и другія тѣла совершенно безцвѣтныя, вполнѣ *непрозрачны* для лучей теплоты идущихъ отъ раскаленной платины или отъ мѣди при 400° и при 100°, тогда какъ нѣкоторые цвѣтныя и мало прозрачныя тѣла, напримѣръ, сѣра, нечистая каменная соль, пропускаютъ ихъ въ значительной степени... Прозрачность для теплоты назовемъ *теплопрозрачностію* (diathermasie) въ противоположность нетеплопрозрачности (adiathermasie)... Представляется вопросъ: тѣло совершенно непрозрачное для свѣта можетъ ли быть теплопрозрачнымъ? Опытъ разрѣша-

етъ вопросъ этотъ утвердительно. Есть три тѣла которые при извѣстной толщинѣ пропускаютъ лучи теплоты многихъ источниковъ, совсѣмъ не пропуская лучей свѣта. Это—черное стекло (изъ какого оптики дѣлаютъ зеркала для опытовъ съ поляризаціей свѣта), черная слюда и каменная соль въ особомъ непрозрачномъ состояніи... Кто въ первый разъ наблюдаетъ явленіе (прохожденіе лучей тепла чрезъ совершенно непрозрачныя тѣла) тотъ обыкновенно готовъ приписать его теплотѣ поглощенной пластинкой и лучеиспускаемой ею на термометръ... Но если вывести столбикъ внѣ направленія (проходящихъ лучей), оставляя его на томъ же разстояніи отъ пластинки и постоянно обращая къ ней, то стрѣлка гальванометра возвратится къ нулю. Можно и повернуть осторожно пластинку такъ чтобъ она стала перпендикулярно къ оси столбика, а стрѣлка все остается при нулѣ... Наконецъ, слѣдующій опытъ доказываетъ, такъ-сказать осязательно, что вліяніе нагрѣванія пластинки не замѣтно... Возмемъ два экрана съ отверстіями и поставимъ ихъ дациметрахъ въ двухъ одинъ отъ другаго (между источникомъ тепла и столбикомъ), такъ чтобъ отверстія ихъ находились на оси пучка лучей теплоты (идущихъ отъ источника къ столбцу); затѣмъ поставимъ непрозрачную пластинку между ними и станемъ передвигать ее отъ одного отверстія къ другому. Эти перемѣны положеній не произведутъ никакого замѣтнаго измѣненія въ показаніи инструмента, что не преминуло бы обнаружиться еслибы дѣйствіе вполнѣ или хотя отчасти происходило отъ нагрѣванія самой пластинки".

Прибавимъ еще что задолго прежде Меллони женевскій физикъ Прево доказывалъ (въ 1811) непосредственное прохожденіе лучистой теплоты чрезъ тѣла, не зависящее отъ ихъ собственной температуры, помощію слѣдующаго опыта. Помощію отверстія образованнаго двумя параллельными пластинками и сое-

диненнаго съ трубой фонтана, онъ произвелъ плоскую водяную струю представлявшею собою слой воды въ полмиллиметра толщиной. Съ одной стороны такой струи ставилъ воздушный термометръ съ зачерненнымъ шарикомъ, съ другой свѣчу или разогрѣтое желѣзо и во многихъ случаяхъ обнаружилъ явные признаки прохожденія теплоты. Такъ какъ струя пропускавшая тепло въ этомъ случаѣ безпрерывно смѣнялась, то нельзя допустить распространенія теплоты отъ слоя къ слою.

Какъ общее заключеніе изъ своихъ опытовъ, Меллони выразилъ такое положеніе: „вода, горный хрусталь и вообще всѣ прозрачныя и безцвѣтныя тѣла *теплоцвѣтны* (пропускаютъ одни изъ лучей теплоты и не пропускаютъ другихъ), то-есть дѣйствуютъ на лучи тепла совершенно подобно тому какъ цвѣтныя среды дѣйствуютъ на лучи свѣта“.

§ 302. Опыты подтверждающіе ученіе о теплоцвѣтности. Дальнѣйшими опытами Меллони еще болѣе подтвердилъ свое воззрѣніе. Такъ 1) извѣстно что если слой цвѣтной среды взять достаточно тонкій, то онъ значительно обезцвѣчивается, начиная пропускать, кромѣ лучей своего цвѣта, и другіе лучи входящіе въ составъ бѣлаго луча. Подобнымъ образомъ если взять тонкія пластинки стекла, слюды, гипса и т. п., то ихъ теплопрозрачность сильно увеличится и они будутъ приближаться съ этомъ отношеніи къ каменной соли. Напримѣръ стекло изъ 100 лучей пропускаетъ

		отъ лампы Локателли.	отъ платины.	отъ мѣди при 400°	отъ мѣди при 100°
при толщинѣ	2,6	39	24	6	0
„ „	0,07	77	57	34	12

2) Если на пути пучка бѣлыхъ лучей поставить пластинку безцвѣтнаго стекла, то такая пластинка пропуститъ гораздо болѣе лучей (почти полное ихъ количество) чѣмъ пластинка цвѣтная, напримѣръ красная: чрезъ послѣднюю пройдутъ только красные лучи. Но если, разъ пропустивъ лучи чрезъ красное стекло и тѣмъ выдѣливъ лучи чрезъ такое стекло не проходящіе, поставимъ на пути прошедшихъ лучей вторую пластинку, то эта пластинка пропуститъ ихъ одинаковое количество, будетъ ли она безцвѣтная или красная: разъ прошедшіе чрезъ красное стекло лучи чрезъ второе такое же

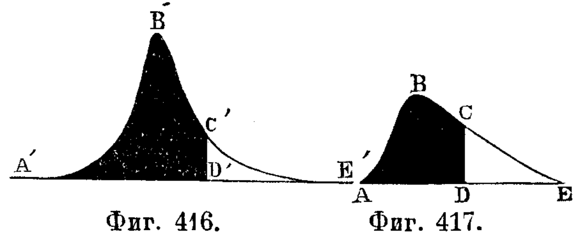
стекло проходятъ въ обиліи. Подобное явленіе Меллони наблюдалъ при послѣдовательномъ прохожденіи лучей тепла чрезъ двѣ пластинки. Лучъ прошедшій чрезъ первую есть какъ бы лучъ окрашенный. Слѣдующая таблица даетъ понятіе о такомъ послѣдовательномъ прохожденіи. Опыты располагались такъ чтобы лучи прошедшіе чрезъ первую пластинку прямо падая на столбикъ, производили отклоненіе 30°, такъ что количество ихъ можно было считать равнымъ 100. Помѣщенная на пути лучей вторая пластинка уменьшала ихъ количество.

	прямо падающихъ.	выходящихъ изъ каменной соли.	квасцевъ.	гипса.	черного непрозр. стекла.
Каменная соль пропускаетъ изъ ста лучей лампы Локателли	92	92	92	92	92
Бериллъ	54	53	80	91	57
Стекло (0,5 милл.)	54	54	90	85	80
Черное стекло (1,8 милл.)	16	16	0	18	52
Гипсъ (12 милл.) . .	10	10	56	45	0,5
Квасцы	9	9	90	47	0

Лучи идущіе отъ аргантовой лампы можно разсматривать какъ лучи разъ прошедшіе чрезъ стеклянную пластинку, ибо пламя лампы окружено стеклянною трубкой. Такіе лучи легко проходятъ чрезъ стекло. Потому если взять два воздушные термометра, одинъ съ зачерненнымъ шарикомъ, другой съ прозрачнымъ и приблизить ихъ къ аргантовой лампѣ, то столбъ жидкости въ зачерненномъ термометрѣ быстро опустится, обнаруживая нагрѣваніе, а столбъ не покрытаго останется въ покоѣ, ибо лучи безъ поглощенія пройдутъ чрезъ его шарикъ. Если поднести къ тѣмъ же термометрамъ нагрѣтое желѣзо, то обѣ колонны опустятся одинаково, ибо стекло поглощаетъ лучи отъ темнаго нагрѣтаго тѣла.

§ 303. Термическое изученіе спектра образованнаго призмою изъ каменной соли. Заключеніе о тождествѣ лучи свѣта и теплоты. Открытіе теплопрозрачности каменной соли дало возможность изучить истинный составъ пучка лучей испускаемыхъ солнцемъ и другими источниками теплоты и свѣта. Образуя спектръ помощію призмы и стекла изъ каменной соли, мы разлагаемъ падающій пучокъ на части разной преломля-

емости безъ утраты лучей вслѣдствіе поглощенія, тогда какъ стеклянная призма задерживаетъ значительную долю теплыхъ лучей. Фиг. 416 и 417 изображаютъ результатъ призматическаго изученія, помощію каменной соли, солнечнаго (фиг. 417) и электрическаго свѣта (фиг. 416). Горизонтальная линія изо-



Фиг. 416. Фиг. 417.

бражаетъ длину спектра, вертикальныя линіи вершины которыхъ соединяются общею кривою—напряженіе теплоты въ разныхъ частяхъ спектра. Бѣлая часть чертежа изображаетъ свѣтлую часть спектра, черная—темную. Видимъ что количество темныхъ лучей теплоты значительно превышаетъ количество свѣтлыхъ, особенно въ случаѣ (фиг. 416) электрическаго свѣта (часть темныхъ солнечныхъ лучей поглощается при прохожденіи чрезъ атмосферу).

Французскіе ученые Жаменъ и Массонъ (къ концу пятидесятыхъ годовъ нынѣшняго столѣтія), произведя солнечный спектръ помощію призмы и стекла изъ каменной соли и вводя узкій столбикъ Меллони въ различныя части спектра, изучали термическое дѣйствіе лучей разной преломляемости. Когда столбикъ оставался въ предѣлахъ видимаго спектра, онъ получалъ лучи опредѣленнаго цвѣта не смѣшанныя ни съ лучами другихъ цвѣтовъ, ни съ темными лучами отклоненными призмой внѣ видимаго предѣла. Спрашивается: нагрѣвающее и освѣщающее дѣйствіе цвѣтнаго луча, такимъ образомъ выдѣленнаго, измѣняются ли во всѣхъ случаяхъ одинаковымъ образомъ,—это свидѣтельствовало бы что то же самое колебаніе которое производитъ нагрѣваніе, дѣйствуя на зрительный нервъ, ощущается нами какъ свѣтъ и что слѣдовательно явленія тепла и свѣта съ физической стороны тождественны между собою;—или же два эти дѣйствія слѣдуютъ не параллельнымъ измѣненіямъ и потому суть два явленія совмѣстныя, но не тождественныя. Опытъ рѣшаетъ вопросъ въ пользу тождества явленій. По отношенію къ однородному лучу,

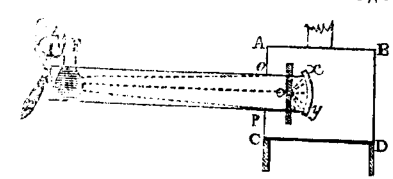
напримѣръ желтому, тѣ тѣла которыя ослабляютъ его свѣтъ настолько же ослабляютъ его теплоту; тѣ которыя прозрачны для его свѣта прозрачны и для его теплоты (назовемъ ее для краткости *желтою теплотою*). Такъ, три пластинки—каменной соли, стекла и квасцовъ, будучи прозрачны для желлаго цвѣта, и желтую теплоту пропускаютъ въ одинаковомъ количествѣ, несмотря на то что въ случаѣ смѣшаннаго пучка лучей, какъ мы видѣли, квасцы и каменная соль рѣзко различаются между собою. Цвѣтныя стекла (зеленое, голубое и фіолетовое) помѣщенныя на пути однородныхъ цвѣтныхъ лучей совершенно въ одинаковой пропорціи ослабляли ихъ свѣтъ и теплоту.

§ 304. Явленія калоресценціи. Тиндаль открылъ что густой растворъ іода въ сѣрнистомъ углеродѣ, вовсе не пропускающій свѣтлыхъ лучей, въ обиліи пропускаетъ темные лучи теплоты. Отразивъ лучи углей электрическаго фонаря помощію металлическаго зеркала, нетрудно соединить эти лучи на нѣкоторомъ разстояніи передъ фонаремъ (собирающее стекло котораго снято) въ одномъ фокусѣ. Если предъ отверстіемъ фонаря поставить сосудъ съ параллельными стѣнками изъ каменной соли, наполненный растворомъ іода въ сѣрнистомъ углеродѣ, то всѣ свѣтлые лучи, стремящіеся къ фокусу, будутъ задержаны, и въ фокусѣ соберутся лишь темные лучи, способные довести помѣщаемое здѣсь тѣло,—если оно имѣетъ достаточную поглощательную способность,—до весьма высокой температуры. Тончайшіе листочки платины раскалялись *); легко воспламеняющіяся тѣла: трутъ,

*) Замѣчательный опытъ свидѣтельствующій что поглощенные лучи вновь испускались повышенными въ своей преломляемости; болѣе длинныя волны темныхъ лучей превращались въ болѣе короткія свѣтлыхъ. Отсюда наименованіе явленія *калоресценціею* въ параллель съ *флуоресценціею*, о которой сказано будетъ ниже и вслѣдствіе которой, чрезъ поглощеніе лучей высшей преломляемости, возбуждаются лучи низшей преломляемости. Но температура раскаленнаго такимъ путемъ тѣла не можетъ быть болѣе температуры источника лучей. Повышеніе преломляемости какъ замѣтилъ авторъ извѣстнаго англійскаго курса химіи докторъ Миллеръ, доказывается уже раскаленіемъ извести гремучимъ газомъ. Лучи доставляемые пламенемъ этого газа почти исключительно темные, а между тѣмъ накаляютъ известь.

спичка, сигара загорались; разнаго цвѣта бумага прогорала (красная наименѣе).

Для опытовъ съ калоресценціею нѣтъ, впрочемъ, надобности употреблять непремѣнно сосудъ изъ каменной соли; обыкновенное стекло пропускаетъ темные лучи, *идущіе отъ источника высокой температуры*, въ достаточномъ количествѣ чтобы произвести дѣйствіе. Опытъ удобно располагается какъ изображено на фиг. 418. Стеклянная колба съ іодомъ F не толь-



Фиг. 418.

ко задерживаетъ свѣтлые лучи но и служитъ собирающимъ стекломъ соединяющимъ темные лучи *).

Замѣчательно что темные лучи, способные раскалять и зажигать тѣла,—въ глазномъ нервѣ, несмотря на свою напряженность, не возбуждаютъ ощущенія свѣта. По-

*) Выше мы видѣли что стекло, квасцы задерживаютъ лучи отъ темныхъ источниковъ, каковы мѣдная пластинка Меллони или кубъ Лесли. Это не противорѣчитъ настоящему опыту, доказывающему только что темные лучи *высокой* температуры, каковы темные лучи солнца или электрическаго свѣта, проходятъ въ значительномъ количествѣ чрезъ стекло, тогда какъ темные лучи сравнительно низкой температуры, идущіе отъ мѣди при 400° или куба при 100°, задерживаются. Вообще тѣло нагрѣтое ниже температуры краснокаленія испускаетъ лишь темные лучи Возмемъ, напримѣръ, платиновую проволоку раскаленную гальваническимъ токомъ. Когда проволока начинаетъ быть видима, къ темнымъ лучамъ присоединяются видимые красные; при возвышеніи температуры прибавляются оранжевые, желтые и такъ далѣе до совокупности всѣхъ цвѣтовъ спектра вмѣстѣ производящихъ ощущеніе бѣлаго цвѣта, когда проволока достигаетъ бѣлокаленія. Между тѣмъ темные лучи нетолько не ослабѣваютъ, но по мѣрѣ возвышенія температуры увеличиваются въ количествѣ и напряженіи. Прибавимъ что на свойствѣ стекла пропускать въ довольно значительномъ коли-

мѣстивъ металлическую пластинку съ маленькимъ отверстіемъ въ томъ мѣстѣ гдѣ собираются лучи, Тиндаль приблизилъ глазъ сзади отверстія къ такому фокусу невидимыхъ лучей. Лучи эти, проникнувъ въ глазъ, не произвели никакого дѣйствія на глазной нервъ. Между тѣмъ помѣщенный въ томъ же мѣстѣ тонкій листокъ платины раскалялся. Опытъ нельзя объяснить поглощеніемъ лучей влагами глаза, ибо, какъ показали изслѣдованія произведенныя надъ бычачьимъ глазомъ, чрезъ эти влаги до ретины достигаетъ до 20 процентовъ общаго количества лучей. Если принять во вниманіе что, напримѣръ, свѣча поставленная за версту и доставляющая въ глазъ сравнительно ничтожное количество лучей, — легко видима въ темную ночь, то должно заключить что глазной нервъ, чувствительный для короткихъ волнъ свѣтлой теплоты, совершенно не чувствителенъ для длинныхъ волнъ темной теплоты, хотя бы, измѣряемое механически, дѣйствіе ихъ было въ нѣсколько милліоновъ разъ сильнѣе.

§ 305. Химическое дѣйствіе лучей. Химическіе лучи. На чемъ основывается фотографія. Роговое или хлористое серебро (Шееле, 1770 г.) чернѣетъ отъ дѣйствія свѣта, ибо разлагается, при чемъ серебро отлагается въ видѣ мельчайшаго порошка имѣющаго темный видъ. Лаписъ или азотнокислое серебро также испываетъ разлагающее дѣйствіе свѣта, если находится въ присутствіи органическихъ веществъ (смоченыя растворомъ ляписа бумага, ткань, кожа чернѣютъ). Смѣсь водороднаго газа съ хлоромъ, приготовленная

чествѣ темные солнечные лучи и задерживать темные лучи отъ источника невысокой температуры основывается дѣйствіе парниковъ и нагрѣваніе до значительной степени термометра заключеннаго въ черномъ ящикѣ, закрытомъ однимъ или нѣсколькими стеклами и выставленномъ на солнечные лучи.

въ темной комнатѣ, будучи вынесена на свѣтъ, производитъ взрывъ вслѣдствіе того что хлоръ, подъ вліяніемъ свѣта, соединяется съ водородомъ.

Вводя тѣла испытывающія химическое дѣйствіе свѣта въ различные части спектра, можно убѣдиться что химически дѣйствуютъ лучи высокой преломляемости—синіе и фіолетовые, тогда какъ лучи малой преломляемости,—красные и темные тепловые не оказываютъ такого дѣйствія. Германскій ученый Риттеръ открылъ что химическое дѣйствіе спектра на его фіолетовомъ концѣ не ограничивается видимымъ предѣломъ фіолетоваго цвѣта. „Я нашелъ (писалъ онъ 22 февраля 1802 года къ издателю *Annalen der Physik* Гильберту) за фіолетовымъ концемъ цвѣтнаго спектра невидимые лучи, обнаруживъ ихъ дѣйствіемъ на роговое серебро. Они разлагаютъ это серебро еще сильнѣе чѣмъ фіолетовые и поле дѣйствія ихъ весьма велико“. Эти химически дѣйствующіе лучи, еще высшей преломляемости чѣмъ фіолетовые, именуются ультра-фіолетовыми и образуютъ невидимое продолженіе спектра, простирающееся на большое протяженіе, особенно если спектръ произведенъ призмою изъ горнаго хрусталя (кварца), тѣла особенно прозрачнаго для лучей этого рода. Какъ показалъ Гельмгольтцъ, лучи эти, хотя и невидимые въ обыкновенныхъ услсвіяхъ опыта, не вовсе лишены способности дѣйствовать на глазной нервъ и при удобныхъ обстоятельствахъ могутъ быть слабо видимы.

На химическомъ дѣйствіи свѣта основывается *фотографія*- Французскій художникъ Дагерръ *) первый (открытіе обнародовано въ 1839 году), замѣнивъ матовое стекло камеръ-обскуры серебряною пластинкою покрытою веществомъ чувствительнымъ для дѣйсгвія свѣта,—указалъ возможность сохранить рисующееся въ этомъ снарядѣ оптическое изображеніе. Онъ под-

*) До изобрѣтенія *дагерротипа* пользовавшійся извѣстностію какъ усовершенствователь діорамы.

вергалъ серебряную дощечку дѣйствію пара іода: она покрывалась слоемъ іодистаго серебра. Затѣмъ ставилъ на нѣсколько минутъ въ фокусѣ камеръ-обскуры и въ темномъ мѣстѣ держалъ надъ чашечкой со ртутью, нагрѣтой до 80°. Пары ртути садились на тѣ мѣста которыя отъ дѣйствія свѣта претерпѣли измѣненіе (незамѣтное непосредственно для глаза), а таковы были свѣтлыя мѣста рисунка. Такимъ образомъ на пластинкѣ образовывался ртутный покровъ со всѣми оттѣнками свѣта и тѣни изображенія. Пластинка промывалась сѣрноватисто-кислою содой растворявшей избытокъ іодистаго вещсства. Пластинку можно было вынести на свѣтъ; рисунокъ сохранялся безъ измѣненія.

Нынѣ способъ Дагера не употребляется болѣе. Его замѣнила фотографія на бумагѣ, открытая въ ту же эпоху англійскимъ ученымъ Тальботомъ, но въ началѣ безъ сравненія уступавшая въ отчетливости рисунка методѣ Дагерра. Снятіе фотографическихъ изображеній состоитъ изъ двухъ операцій: a) снятіе негативнаго изображенія или *негатива* и b) образованія позитивнаго рисунка или *позитива*. Коллодіумъ, содержащій въ растворѣ іодистый потассій, наливается на стекло и покрываетъ его тонкою прозрачною плевой; затѣмъ стекло вносится въ ванну съ азотнокислымъ серебромъ: въ толщѣ колодіума образуется іодистое серебро и остается нѣкоторый избытокъ азотно-кислаго серебра. Пластинка стала чувствительною для свѣта. Ее помѣщаютъ въ фокусѣ камеръ-обскуры; дѣйствіе свѣта измѣняетъ чувствительный слой, но въ началѣ невидимо для глаза, такъ что пластинка внесенная въ темную комнату и разсматриваемая при свѣтѣ свѣчи или лампы не обнаруживаетъ рисунка. Но если полить ее пирогалловой кислотой (или сѣрнокислымъ желѣзомъ) серебро начнетъ осѣдать и отложится на тѣхъ мѣстахъ гдѣ дѣйствовалъ свѣтъ. Удаливъ пемощію сѣрноватистокислой соды и промывки въ водѣ избытокъ солей оставшихся неразложенными, получимъ *негативъ* уже неизмѣняющійся отъ дѣйствія свѣта и состоящій изъ серебра покрывающаго темнымй слоемъ мѣста гдѣ дѣйствовалъ свѣтъ: свѣтлыя части предмета представляются потому темными и наоборотъ. Чтобы имѣть рисунокъ въ естественномъ видѣ, негативъ накладываютъ на чувствительную для свѣта бумагу и выставляютъ на свѣтъ. Лучи проходятъ чрезъ части непокрытыя серебромъ и въ большей или меньшей степени задерживаются тамъ гдѣ есть слой серебра. Бумага темнѣетъ въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ дѣйствуютъ лучи, и получается изображеніе обратное съ негативомъ, но предметъ представляющее въ естественномъ видѣ. Чувствительная бумага для позитивовъ приготовляется чрезъ смачиваніе стороны на которой имѣетъ образоваться рисунокъ растворомъ поваренной соли и затѣмъ азотнокислымъ серебромъ; образуется хлористое серебро, и остается нѣкоторый избытокъ азотнокислаго. Пропитанная этимъ веществомъ бумага темнѣетъ, будучи подвергнуга дѣйствію свѣта. Неразложенныя соли и съ позитива удаляются такою же промывкою какъ съ негатива.

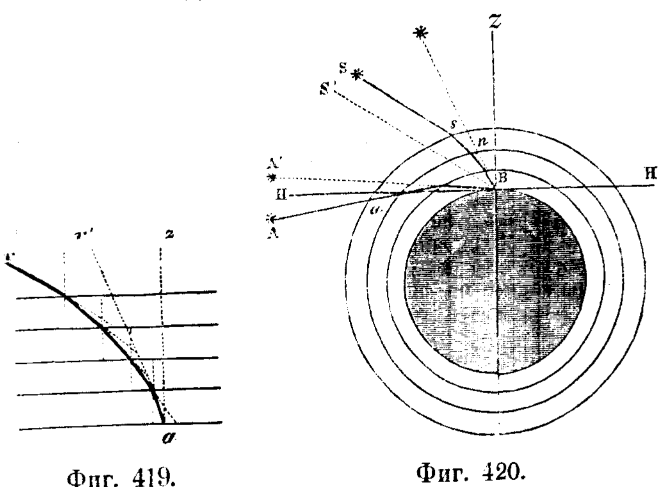
§ 306. Флуоресценція. Фосфоресценція. Если, проложивъ спектръ солнечнаго или электрическаго свѣта на экранъ, вносить въ различные цвѣта его кусокъ зеленоватаго стекла окрашеннаго окисью металла урана или склянку съ растворомъ сѣрнокислаго хинина, то замѣтимъ что вещества эти, будучи помѣщены въ фіолетовомъ цвѣтѣ или же и за предѣлами его въ невидимыхъ химическихъ (ультрафіолетовыхъ) лучахъ, свѣтятся фосфорическимъ свѣтомъ, испускаемымъ ихъ верхнимъ слоемъ. Явленіе это, именуемое *флуоресценціей*, еще рѣзче замѣтно, если, помѣстивъ предъ фонаремъ электрическаго свѣта стекло пропускающее лишь фіолетовые лучи, внесемъ сказанныя тѣла въ широкій пучокъ этихъ лучей.

Разлагая призмою свѣтъ отъ тѣла внесеннаго въ фіолетовую или ультрафіолетовую часть спектра и обнаруживающаго флуоресценцію, можно убѣдиться что свѣтъ этотъ есть сложный, заключающій въ себѣ всѣ цвѣта спектра. Заключаемъ что фіолетовые и ультра-фіолетовые лучи, дѣйствуя на такія тѣла и приводя ихъ въ состояніе самосвѣченія, преобразуютъ короткія падающія волны въ болѣе длинныя, въ замѣнъ ихъ испускаемые. Лучи невидимые возвышаются въ преломляемости и становятся видимыми. Кромѣ упомянутыхъ тѣлъ, флуоресценцію имѣютъ настой каштановой коры, различные растительные экстракты и многія другія тѣла.

Флуоресценція продолжается пока тѣло подвержено дѣйствію лучей, по превращеніи же дѣйствія сохраняется лишь малую долю секунды. *Фосфоресценція* есть свойство тѣлъ свѣтиться въ темнотѣ послѣ того какъ они нѣкоторое время были подвергнуты дѣйствію свѣта—*инсоляціи*. Алмазъ, сѣрнистыя соединенія стронція, барія и другихъ тѣлъ имѣютъ это свойство. Наименованіе произошло отъ фосфора, процессъ медленнаго окисленія котораго сопровождается свѣченіемъ. Фосфоресценція въ нѣкоторыхъ тѣлахъ можетъ быть возбуждена нагрѣваніемъ, треніемъ.

Нѣкоторыя оптическія явленія въ атмосферѣ.

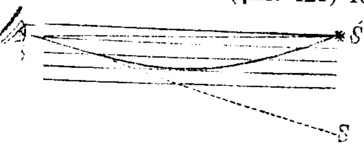
§ 307. Атмосферное преломленіе. Если лучъ проходитъ въ косвенномъ направленіи рядъ слоевъ постепенно увеличивающейся плотности, то онъ, какъ изображено на фиг. 419 постепенно отклоняется отъ первоначальнаго направленія и описываетъ криволинейный путь. Глазъ помѣщенный въ a увидитъ точку r не въ истинномъ ея положеніи, а въ r', по направленію касательной къ кривой въ точкѣ a. Такое явленіе наблюдается въ земной атмосферѣ и именуется *астрономическимъ преломленіемъ* когда дѣло идетъ о наблюденіи небесныхъ свѣтилъ. Звѣзда S для наблюдателя B кажется (фиг. 420) ближе къ зениту (еслибы атмосферы не было, наблюдатель видѣлъ бы звѣзду по направленію BS', параллельному Ss, такъ какъ звѣзда находится на безконечно-большомъ разстояніи). Свѣтило A находящееся еще подъ горизонтомъ кажется уже взошедшимъ на горизонтъ. Если свѣтило въ зенитѣ и слѣдовательно лучи его проходятъ атмосферные слои въ перпендикулярномъ направленіи,—преломленія нѣтъ. Дѣйствіе преломленія на чертежѣ представлено преувеличенно; на среднемъ разстояніи между зенитомъ и горизонтомъ (при 45° высоты) оно не болѣе 1 минуты; при горизонтѣ 33 минуты, болѣе слѣдовательно чѣмъ видимый діаметръ солнца (которое потому кажется взошедшимъ когда еще находится подъ горизонтомъ).



Фиг. 419. Фиг. 420.

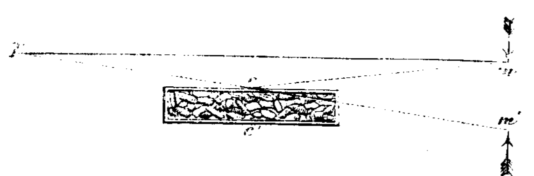
§ 308. Необыкновенное атмосферное преломленіе. Зеркальность воздуха или миражъ. Когда наблюдатель смотритъ не сквозь среду состоящую изъ слоевъ постепенно измѣняющейся

плотности, а *вдоль* ея наслоеній (фиг. 421) то при этомъ не-



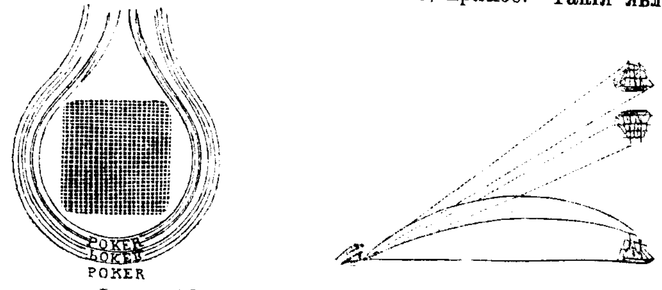
Фиг. 421.

рѣдко можно замѣтить любопытныя явленія преломленія. Наблюдатель можетъ видѣть одновременно и самый предметъ S, по прямому направленію, и его отраженное изображеніе усматриваемое благодаря лучу описавшему кривой путь (слои предполагаются уменьшающейся книзу плотности). Такъ если смотрѣть вдоль сильно разогрѣтой поверхности на предметъ m, то въ m' покажется (фиг. 422) его изображеніе, вслѣдствіе отраженія въ самомъ воздухѣ разогрѣтомъ и разрѣженномъ, (темная желѣзная поверхность сама по себѣ не отражаетъ



Фиг. 422.

лучей). Вульстенъ, первый изучившій этого рода явленія, смотрѣлъ на написанное на стѣнѣ слово *poker* (кочерга) вдоль разогрѣтаго желѣзнаго стержня и получилъ зрѣлище изображенное на фиг. 423. Изображеній замѣчалось даже два, одно обратное, и другое, выше его, прямое. Такія явле-



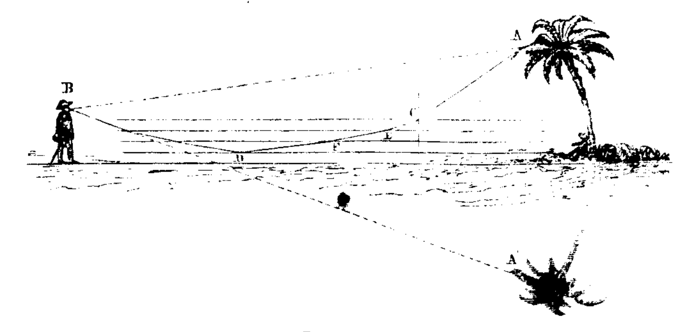
Фиг. 423. Фиг. 424.

нія, иногда въ значительныхъ размѣрахъ наблюдаются въ природѣ на большихъ равнинахъ сильно разогрѣтыхъ

тыхъ солнцемъ, (напримѣръ въ степяхъ Египта, въ нашихъ южныхъ степныхъ мѣстахъ), а также при поверхности (фиг. 424) моря, съ тою разницею что при морѣ нижній слой болѣе холодный и плотный. Названіе *миража* (se mirer—зеркальность дано французскими моряками. Во время похода Бонапарта въ Египетъ знаменитый французскій математикъ Монжъ *) наблюдалъ и подробно описалъ этого рода явленіе, указавъ вмѣстѣ съ тѣмъ и его теорію.

„Утромъ и вечеромъ, пишетъ Монжъ, видъ мѣстности таковъ какъ долженъ быть, и между вами и ближайшими селеніями вы видите только землю; но, съ того времени какъ почва достаточно нагрѣется солнцемъ и до вечера когда начнетъ охлаждаться, земля кажется имѣющею иное протяженіе и оканчивающеюся на разстояніи около лье общимъ наводненіемъ. Селенія за этимъ разстояніемъ кажутся какъ бы островами лежащими посреди обширнаго озера... Подъ каждымъ селеніемъ видно его обращенное, не очень ясное, изображеніе, какое увидали бы еслибы дѣйствительно предъ нами была отражающая водная поверхность. По мѣрѣ приближенія къ селенію берегъ кажущейся воды удаляется, рукавъ моря, который, казалось, отдѣлялъ васъ отъ селенія, съуживается, наконецъ совсѣмъ исчезаетъ, и явленіе, прекратившееся для этого селенія, воспроизводится для новаго, открывающагося глазу въ надлежащемъ разстояніи".

Фиг. 25 указываетъ путь лучей производящихъ явленіе миража. Слой прилегающій къ нагрѣтой почвѣ становится зна-



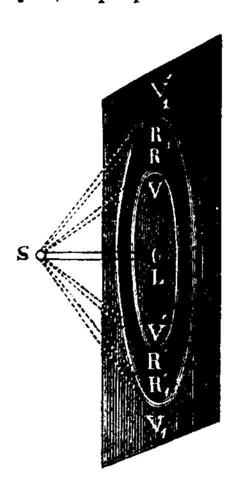
Фиг. 425.

чительно рѣже слоевъ выше лежащихъ. Наблюдатель получаетъ отъ отдаленнаго предмета—вопервыхъ лучъ прямо идущій,

*) Творецъ начертательной геометріи, принимавшій главное участіе въ основаніи знаменитой Парижской Политехнической Школы.

приблизительно вдоль слоя однообразной плотности, вкоторыхъ лучъ свершившій кривой путь. Нижнія части небеснаго свода, отражаясь подобнымъ же образомъ, дѣлаютъ впечатлѣніе водного пространства.

§ 309. Радуга. Радуга наблюдается когда предъ глазами наблюдателя проходятъ водяныя капли (напримѣръ идетъ дождь, несутся брызги фонтана, водопада) освященныя солнцемъ, находящимся сзади его головы. Ученые первые объяснившіе это явленіе основали объясненіе на опытѣ съ стеклянным шаромъ наполненнымъ водою и представляющимъ какъ бы водяную каплю огромныхъ размѣровъ. Antonius de Dominis *) (1611 г.) бросилъ пучокъ солнечныхъ лучей на такой шаръ и замѣтилъ что часть этихъ лучей, пройдя чрезъ шаръ, преломляется, соединяясь въ нѣкоторой точкѣ сзади его, другая же отражается отъ его внутренней поверхности и возвращается коническимъ пучкомъ, окаймленнымъ, при поверхности, воронкою цвѣтныхъ лучей, обозначающихся радужной каймой, если принять отраженный пучекъ на экранъ, какъ изображено на фиг. 426. L есть отверстіе пропускающее лучи, S прозрачный шаръ ихъ отражающій и дающій на экранѣ радужную кайму VR съ фіолетовымъ цвѣтомъ со внутренней и краснымъ съ наружной стороны. На нѣкоторомъ разстояніи отъ первой воронки лучей замѣчается вторая воронка съ фіолетовымъ цвѣтомъ съ наружной стороны, пролагающаяся на экранѣ коймою R_1V_1. Между двумя коймами темный промежутокъ; внутри же конуса образуемаго первою воронкою, а на экранѣ, слѣдовательно, въ пространствѣ окаймленномъ первою коймою — слабое освѣщеніе. Такимъ образомъ прозрачный шаръ, а слѣдовательно и водяная капля, дѣйствуетъ какъ рефлекторъ отражающій падающій на него пучекъ, параллельныхъ лучей въ формѣ двухъ воронкообразныхъ пучковъ каждый изъ семи цвѣтныхъ слоевъ.



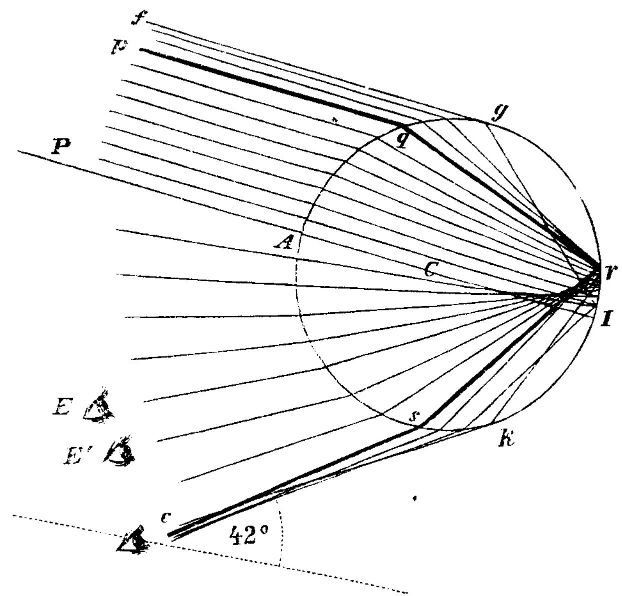
Фиг. 426.

Тоже явленіе Декартъ оправдалъ, наблюдая шаръ глазомъ и

*) Іезуитъ быстро поднявшійся въ церковной іерархіи до званія архіепископа. Обвиненный инквизиціею въ склонности къ протестантскимъ идеямъ удалился въ Англію. Къ концу жизни вернулся въ Римъ, отказываясь отъ ученій какихъ держался въ Англіи, но скоро былъ брошенъ въ темницу инквизиціи, гдѣ и умеръ въ 1624 году. Его трупъ и сочиненія были сожжены, и пепелъ брошенъ въ Тибръ.

усматривая яркіе цвѣта, когда глазъ находится при предѣлѣ отраженнаго конуса. Онъ нашелъ что уголъ соотвѣтствующій половинѣ отверстія первой красной воронки составляетъ около 42°, уголъ же второй воронки лучей равняется около 51°. Слои лучей другихъ цвѣтовъ сопровождаютъ красный слой, образуя въ первой воронкѣ углы нѣсколько меньшіе 42° (около 40° для фіолетовыхъ лучей) во второй нѣсколько большіе 51° (около 54° для красныхъ лучей).

Ньютонъ подвергъ вопросъ о пути лучей и разложеніи бѣлаго пучка внутри водяной капли подробному теоретическому изслѣдованію и далъ полное объясненіе происхожденію цвѣтной коймы составляющей радугу. Фиг. 427 представляетъ построенный, на основаніи законовъ преломленія свѣта въ водѣ, точный путь пучка красныхъ лучей $fgAP$, падающихъ на верхнюю половину водяной сферы параллельно между собою и выходящихъ послѣ отраженія отъ ея внутренней поверхности коническимъ пучкомъ. Видимъ что лучи выходящіе при краѣ конуса выходятъ почти параллельной груп-

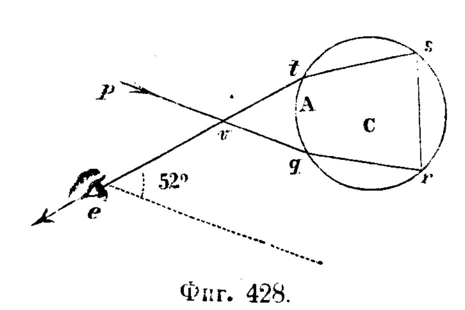


Фиг. 427.

пой, тогда какъ внутренніе расходятся между собою и что предѣльный лучъ se (онъ соотвѣтствуетъ не самому крайнему изъ падающихъ, а лучу pq) дѣлаетъ съ направленіемъ пада-

ющихъ уголъ въ 42°. Если глазъ будетъ находиться по направленію луча *se*, то онъ ощутитъ впечатлѣніе краснаго цвѣта, хотя бы капля находилась очень далеко, ибо приметъ струю параллельныхъ лучей, сохраняющую одинаковую почти силу освѣщенія вблизи и вдали отъ капли. Находясь гдѣ-нибудь въ E' или E, глазъ не ощутитъ свѣта, ибо сила освѣщенія расходящихся лучей уменьшается по мѣрѣ удаленія. Лучи сосѣдніе съ *se* называются *дѣйствующими*. Такимъ образомъ если линія проведенная отъ глаза къ отдаленной каплѣ дѣлаетъ съ направленіемъ падающихъ лучей уголъ въ 42°, то капля эта играетъ роль отдаленнаго рефлектора посылающаго въ глазъ струю краснаго свѣта.

Мы прослѣдили путь лучей параллельнымъ пучомъ падающихъ на верхнюю часть капли и по отраженіи выходящихъ внизъ. Параллельные лучи падающіе на нижнюю часть капли выйдутъ подобнымъ образомъ кверху. Но часть ихъ, послѣ *двоекратнаго* отраженія въ каплѣ, выйдетъ также и внизъ. Такъ лучъ Pq (фиг. 428) отразившись при r, s и преломившись при

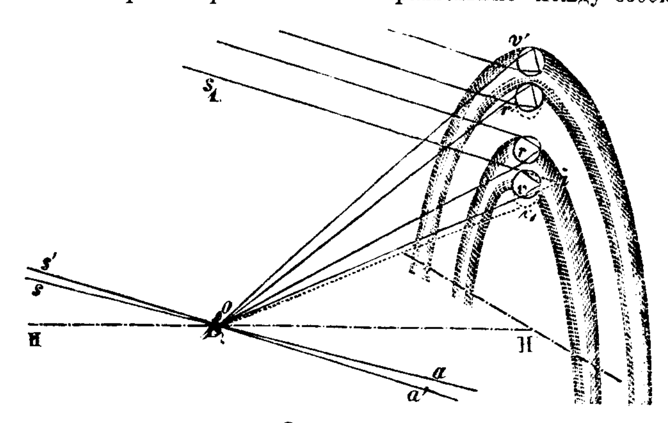


Фиг. 428.

b достигаетъ глаза наблюдателя e. Весь пучокъ такимъ образомъ выходящій будетъ также конусоидальный съ воронкообразнымъ предѣломъ дѣйствующихъ лучей; причемъ уголъ соотвѣтствущій красному цвѣту будетъ 52°, фіолетовому 54°. Эти лучи объясняютъ происхожденіе второй коймы на экранѣ въ опытѣ изображенномъ на фиг. 426. Прибавимъ что расходящіеся лучи этого втораго конусоидальнаго пучка находятся внѣ его воронкообразнаго предѣла, а не внутри воронки какъ въ случаѣ перваго пучка, образованнаго *однократнымъ* отраженіемъ внутри капли. Этимъ объясняется темный промежутокъ между коймами: въ него не попадаетъ отраженныхъ лучей.

Представимъ теперь себѣ (фиг. 429) что предъ глазомъ наблюдателя находится слой водяныхъ капель освѣщенныхъ солнечными

лучами. Проведемъ отъ точки o занимаемой глазомъ линіи os и os' къ краямъ солнца и обратимъ вниманіе, напримѣръ, на лучи выходящіе изъ его нижней точки. По отдаленности солнца, ихъ можно разсматривать какъ параллельные между собою.



Фиг. 429

Начиная разсужденіе, напримѣръ, съ фіолетовыхъ лучей, проведемъ линію ov, дѣлающую съ направленіемъ лучей sa уголъ 40°; эта линія будетъ лежать на предѣлѣ фіолетовой струи свѣта отражаемой каплею или точнѣе цѣлымъ рядомъ капель дождеваго слоя лежащаго по этому направленію. Разсуждая относительно лучей идущихъ отъ верхняго края солнца, какъ разсуждали относительно лучей идущихъ отъ верхняго, проведемъ линію ov' дѣлающую съ oa' уголъ 40°, по направленію которой глазъ получаетъ также фіолетовую струю. Не только капли встрѣчаемыя по направленію ov и ov', но и капли лежащія въ цѣломъ коническомъ слоѣ, происходящемъ отъ обращенія этихъ линій вокругъ соотвѣтствующихъ имъ линій oa и oa', при неизмѣнномъ углѣ 40°, будутъ доставлять глазу фіолетовые лучи и слѣдовательно глазъ будетъ видѣть цѣлую фіолетовую дугу шириною въ полградуса (такъ какъ уголъ между направленіями ov и ov' равный углу aoa' или sos', т. е. угловой величинѣ солнца, составляетъ немного болѣе полградуса); надъ фіолетовою будутъ дуги другихъ цвѣтовъ и наконецъ красная соотвѣтственно направленію or и углу 42°. Такъ объясняется первая радуга. Проводя линіи or' и ov' дѣлающія съ направленіемъ oa углы 51° и 54°, объяснимъ происхожденіе второй радуги.

§ 310. Голубой цвѣтъ неба. Если впустить въ темную комнату чрезъ отверстіе въ ставнѣ пучокъ солнечныхъ лучей, то путь ихъ обозначится въ воздухѣ вслѣдствіе освѣщенія малѣй-

шихъ пылинокъ носящихся въ комнатѣ и имѣющихъ, согласно Тиндалю, преимущественно органическое происхожденіе. Разсѣяніе свѣта частицами самого воздуха, согласно тому же изслѣдователю, незначительно, и еслибы воздухъ былъ свободенъ отъ постороннихъ частицъ, а тѣмъ болѣе еслибы лучи проходили въ чистой пустотѣ, то путь его не былъ бы виденъ со стороны и надо бы было помѣстить глазъ въ самомъ пучкѣ чтобы ощутить свѣтъ. Разсѣяніемъ лучей малѣйшими частицами носящимися въ воздухѣ Тиндаль объясняетъ происхожденіе голубаго цвѣта неба, основываясь на опытахъ съ химическимъ разложеніемъ нѣкоторыхъ веществъ (преимущественно органическаго происхожденія, какъ азотистокислый нитрилъ, таковой же бутилъ и многія другія) дѣйствіемъ лучей солнечныхъ или электрическаго свѣта. Заключая небольшое количество пара такихъ веществъ въ цилиндрической стеклянной трубкѣ, концы которой задѣланы стеклянными же прозрачными пластинками и пропуская пучокъ лучей вдоль оси трубки,—сдѣлавъ его притомъ, помощію внѣшняго стекла, сходящимся въ фокусъ внутри трубки,—онъ нашелъ что слѣдъ пучка въ началѣ опыта незамѣтный, скоро начинаетъ обозначаться, вслѣдствіе разложенія пара и выдѣленія мельчайшихъ частицъ. Пока частицы крайне мелки, слѣдъ лучей представляется голубымъ—цвѣтъ небесной лазури; цвѣтъ этотъ переходитъ, при возрастаніи величины частицъ, въ бѣлый облачный, и слѣдъ получаетъ видъ тончайшаго клубящагося дыма. Тиндаль не рѣшаетъ вопроса отъ какихъ собственно частицъ происходитъ атмосферное разсѣяніе, но опыты его вообще указываютъ что самое незначительное количество вещества приведеннаго въ состояніе мельчайшихъ капелекъ или пылинокъ, сравнительно съ которыми капельки или пылинки доступныя микроскопу суть тѣла громаднѣйшей величины, въ состояніи наполнить разсѣяннымъ свѣтомъ весьма значительное пространство. Еслибы не было атмосферы, то солнце и звѣзды представлялись бы ярко свѣтящимся кругомъ и свѣтлыми точками на совершенно черномъ фонѣ; вокругъ насъ были бы рѣзкіе переходы отъ свѣта къ тѣни и мы не имѣли бы того болѣе или менѣе однообразнаго освѣщенія, какое теперь имѣемъ при дневномъ свѣтѣ, когда не только самое солнце но и всякая часть небеснаго свода, облегающаго землю свѣтлымъ шатромъ, доставляетъ свѣтъ.

§ 311. Задачи. 1) Въ ставнѣ темной комнаты сдѣлано отверстіе въ 1 центиметръ діаметра и пропущены солнечные лучи принятые на экранъ, поставленный перпендикулярно къ оси пучка на разстояніи 3 метровъ отъ отверстія. Какъ велико будетъ изображеніе солнца (видимый его діаметръ $= 32'$)? 2) Высота солнца въ полдень надъ горизонтомъ $52° 20'$. Найти высоту дерева бросающаго тѣнь 80 футовъ длиною. 3) Два источника свѣта разстоятъ одинъ отъ другаго на n метровъ; напряженіе свѣта перваго есть a, втораго b. Гдѣ надо поставить экранъ между ними чтобъ онъ съ двухъ сторонъ былъ освѣщенъ одинаково? 4) Наблюдатель смотритъ въ небольшое плоское зеркало, такъ что всего себя въ немъ не видитъ. Найти построеніемъ какую часть онъ видитъ. 5) Два зеркала поставлены подъ прямымъ угломъ одно къ другому; линія ихъ раздѣла помѣщена горизонтально. Объяснить почему наблюдатель, смотрясь въ такое сложное зеркало, видитъ себя верхъ ногами. Какъ видитъ онъ себя при другихъ положеніяхъ зеркала. Подобные опыты съ прямоугольною призмою. 6) Приложеніе формулъ вогнутаго зеркала и собирающаго стекла къ рѣшенію различныхъ задачъ о мѣстѣ и величинѣ изображенія, фокусномъ разстояніи, кривизнѣ зеркала или стекла. Приложеніе къ случаю мнимыхъ изображеній. Приложеніе формулъ вогнутаго зеркала и разсѣвающаго стекла. 7) Воздушныя линзы и ихъ противуположность съ стеклянными линзами. Какъ дѣйствуетъ слой воздуха помѣщенный внутри, напримѣръ, воды и ограниченный а) выпуклыми поверхностями (разсѣвающее воздушное стекло); б) вогнутыми поверхностями (собирающее воздушное стекло). 8) Собирающее стекло въ разстояніи 24 центиметровъ отъ стѣны даетъ отчетливое изображеніе свѣчи; если приблизить стекло на 12 центиметровъ, то оказывается что для полученія отчетливаго изображенія свѣчи ея разстояніе отъ стекла надо удвоить. Найти фокусное разстояніе стекла. 9) Объяснить явленіе отраженія въ передней и задней поверхности стекла той или другой формы (двояко-выпуклаго, плоско-выпуклаго, двояко-вогнутаго и т. д.). Вогнутое зеркало, образованное изъ двояковыпуклаго стекла, котораго задняя поверхность покрыта амальгамою. 10) Два собирающія стекла, въ 5 центим. фокуснаго разстоянія каждое, поставлены одно за другимъ въ разстояніи 3 центим. Изучить оптическое дѣйствіе такой системы на кружокъ въ 1 центим. діаметра поставленный на разныхъ разстояніяхъ. 11) Зрѣніе въ сходящихся лучахъ. Поставивъ предъ вогнутымъ зеркаломъ, между фокусомъ и центромъ, свѣчу получимъ ея воздушное обратное изображеніе; но если наблюдатель помѣститъ глазъ ближе къ зеркалу чѣмъ мѣсто изображенія, то увидитъ отраженіе свѣчи въ прямомъ видѣ: объяснить это явленіе. 12) Поставимъ предъ собирающимъ стеломъ экранъ съ малымъ отверстіемъ соотвѣтственно центру стекла. Гдѣ надо помѣстить глазъ чтобы, смотря чрезъ стекло, не замѣчать экрана съ его прорѣзомъ а видѣть такъ какъ еслибы стекло дѣйствовало всѣмъ своимъ отверстіемъ (только съ ослабленіемъ яркости). 13) Свѣча поставлена предъ вогнутымъ зеркаломъ между центромъ и фокусомъ такъ что ея изображеніе рисуется на поставленномъ въ нѣкоторомъ разстояніи экранѣ. Маленькое непрозрачное препятствіе сзади свѣчи загораживаетъ ее такъ что она можетъ посылать лучи только на зеркало, а не прямо на экранъ. На пути лучей между зеркаломъ и экраномъ помѣстимъ непрозрачное препятствіе съ маленькимъ отверстіемъ и за нимъ на небольшомъ разстояніи листокъ бумаги. На бумагѣ получится маленькое обратное изображеніе свѣчи. Объяснить это явленіе. 14) Предметъ стоитъ передъ стекломъ; изо-

браженіе рисуется на экранѣ. Что произойдетъ, если на мѣсто экрана поставить плоское или вогнутое зеркало? 15) По данному показателю преломленія опредѣлить уголъ съ какого начинается полное внутреннее отраженіе. 16) Сравненіе увеличенія лупъ, сдѣланныхъ изъ разныхъ веществъ, но имѣющихъ одинаковую кривизну (напримѣръ сравненіе лупы изъ стекла съ лупою изъ алмаза). 17) Наблюдатель видитъ ясно на разстояніи n центиметровъ; желаетъ видѣть ясно предметъ находящійся на разстояніи n' центиметровъ. Какое стекло онъ долженъ взять? 18) Лучъ входитъ въ призму подъ угломъ паденія 20°, уголъ призмы 40°. Найти уголъ при выходѣ и отклоненіе, если показатель $n=1,5$. 19) Чтобы опредѣлить показатель преломленія флинта для красныхъ лучей (линія B) измѣримъ уголъ minimum отклоненія $=27°\ 47'\ 56''$. Уголъ призмы 36° 24' 50''. Какъ великъ искомый показатель? 20) Какъ видоизмѣнить формулу $\frac{1}{F}=(n-1)\left(\frac{1}{R'}+\frac{1}{R''}\right)$ въ случаѣ плоско-выпуклаго стекла, въ случаѣ менисковъ?

ОТДѢЛЪ ЧЕТВЕРТЫЙ.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМЪ.

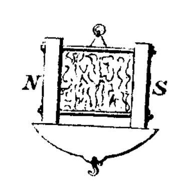
I. Начальные факты магнетизма.

§ 312. Естественные магниты. Во многихъ мѣстахъ пластами и цѣлыми горами (таковы, напримѣръ, гора Благодать и Высокая гора въ Уральскомъ хребтѣ, нѣкоторыя горы въ Швеціи и Норвегіи) встрѣчается желѣзная руда чернаго цвѣта называемая магнитнымъ желѣзнякомъ. Отдѣльные куски этой руды, особенно полежавшіе на воздухѣ и отчасти заржавленные, нерѣдко имѣютъ свойство притягивать желѣзо. Такіе куски называются *естественными магнитами*. Если повалять магнитъ въ желѣзныхъ опилкахъ, то они пристанутъ къ его поверхности, преимущественно въ мѣстахъ именуемыхъ его *полюсами*. Чтобы съ удобствомъ обнаружить способность магнита держать приложенное желѣзо, обыкновенно обкладываютъ обѣ его стороны, соотвѣтствующія полюсамъ, желѣзною оправой (фиг. 430) въ формѣ полосъ, къ концамъ которыхъ прилагается третья полоса именуемая *якоремъ*. Оправа не только дѣлаетъ опытъ удобнымъ, но и увеличиваетъ силу магнита. Грузъ потребный для того чтобъ оторвать якорь отъ

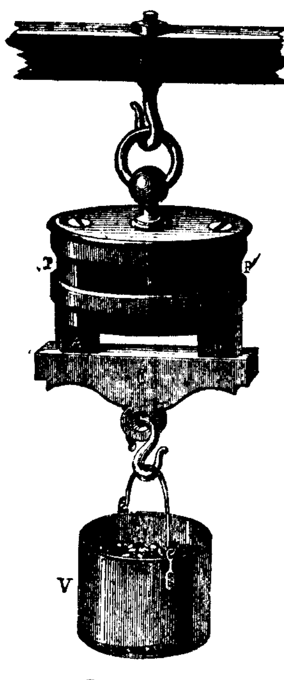
магнита служитъ мѣрою его силы. Фиг. 431 изображаетъ большой естественный магнитъ съ его оправою и грузомъ.

Малые магниты могутъ вообще держать, сравнительно съ своимъ вѣсомъ, болѣе значительный грузъ чѣмъ большіе (очень маленькіе магниты держатъ въ 30, 40 разъ болѣе своего вѣса: тогда какъ кусокъ въ 2 фунта уже рѣдко держитъ болѣе десятикратнаго собственнаго вѣса). Какъ примѣръ большаго магнита можно привести магнитъ Тейлерова музея въ Голландіи, который съ оправою вѣситъ триста фунтовъ и держитъ грузъ болѣе 230 фунтовъ.

Свойство магнита притягивать желѣзо извѣстно съ древности. Самое имя произошло отъ города Магнезіи, въ Лидіи, недалеко отъ нынѣшней Смирны, гдѣ по преданію найдены первые маг-



Фиг. 430.



Фиг. 431.

ниты *). Нельзя сказать когда сдѣлалось извѣстнымъ свойство подвижнаго магнита или намагниченной стрѣлки (компасъ) становиться по направленію отъ сѣвера къ югу. Древнѣйшимъ сочиненіемъ въ Европѣ, въ которомъ упоминается о

---

*) Римскій натуралистъ Плиній передаетъ сказаніе что магнитъ получилъ наименованіе отъ имени пастуха Магнеса, замѣтившаго будто бы что гвозди его обуви и кончикъ палки въ нѣкоторыхъ мѣстахъ пристаютъ къ горѣ Идѣ. Въ стихахъ Лукреція, описывающаго многія свойства магнита: притяженіе, отталкиваніе, передачу дѣйствія чрезъ желѣзо, говорится:

Quem magneta vocant patrio de nomine Graii
Magnetum quia sit patriis in montibus ortus.

компасѣ считается рукопись XII вѣка, въ стихахъ, *) на старомъ французскомъ языкѣ, приписываемая нѣкоторому Guyot de Provins. Васко де Гама и Колумбъ пользовались компасомъ, и послѣдній открылъ что стрѣлка направлена не строго на сѣверъ, а дѣлаетъ съ меридіаномъ уголъ, различный въ разныхъ мѣстахъ (*склоненіе* стрѣлки). Стрѣлки намагничивали натираніемъ и, сколько можно судить изъ письма (1544) викарія въ Нюренбергѣ Гартмана (къ герцогу Альбрехту Прусскому), не знали что если положить на поплавокъ самый магнитъ, который чрезъ натираніе сообщилъ концу стрѣлки свойство направляться на сѣверъ, то магнитъ этотъ станетъ *къ югу* тѣмъ полюсомъ о который натирали конецъ стрѣлки (опытъ доказывающій что чрезъ натираніе сообщается противоположный магнетизмъ). Кромѣ стрѣлки другіе искусственные магниты не были въ употребленіи до тридцатыхъ годовъ XVIII вѣка (Галилей, впрочемъ, по свидѣтельству его ученика Кастелли, занимался приготовленіемъ небольшихъ искусственныхъ магнитовъ), и англійскій врачъ Гильбертъ **), авторъ знаменитаго сочиненія *О магнитѣ* (De Magnete, 1600), основаннаго на опытахъ и принадлежащаго къ числу важнѣйшихъ трудовъ XVII вѣка, которыми положено основаніе экспериментальной методы изслѣдованія природы,—пользовался при своихъ опытахъ естественными магнитами. Онъ давалъ имъ шаровидную форму (terella), по аналогіи съ земнымъ шаромъ, который разсматривалъ какъ большой магнитъ.

§ 313. Искусственные магниты. Искусственными магнитами называются намагниченные (натираніемъ о

---

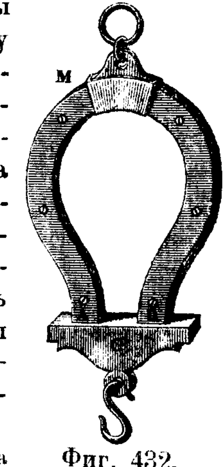
*) Въ этихъ стихахъ говорится что если коснуться иголкой темнаго камня (une pierre laide et brunière où li fers volontiers se joinet), положить ее на соломенку и пустить въ сосудѣ на воду, то иголка направляется къ сѣверу (къ полярной звѣздѣ). Ею пользуются моряки.

Quant la mer est obscure et brune,
Quant ne voit estoile ni lune,
Dont font à l'aiguille allumer
Puis n'ont ils garde d'esgarer.
Contre l'estoile va la poincte.

Неаполитанецъ Флавій Жіойя (Flavius Gioja) укрѣпилъ стрѣлку на остріѣ, поставивъ его въ центрѣ циферблата съ обозначеніемъ странъ свѣта.

**) Гильбертъ приглашалъ ученыхъ не только пользоваться тѣмъ что добыто древними, но и двинуть науку впередъ собственными изысканіями, руководствуясь правиломъ „libere philosophari, eadem licentia qua olim Aegyptii, Graeci, Latinique sua dogmata divulgabant“.

естественные или о другіе искусственные магниты) стальныя полосы, соединяемыя обыкновенно въ пучки и которымъ нерѣдко даютъ подковообразную (фиг. 432) форму. Они могутъ быть доведены до значительной силы и по удобству употребленія предпочитаются естественнымъ магнитамъ. Къ искусственнымъ магнитамъ принадлежатъ *электро-магниты*, состоящіе изъ куска мягкаго желѣза обмотаннаго проволокой, чрезъ которою пропускается электрическій токъ. Электро-магниты безъ сравненія превосходятъ своею силою всякіе другіе магниты и потому нынѣ исключительно употребляются въ опытахъ гдѣ требуется значительная магнитная сила.



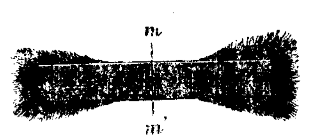
Фиг. 432.

Искусственные магниты изъ стальныхъ намагниченныхъ проволокъ соединенныхъ въ общій пучокъ были въ 1730 году представлены Лондонскому Королевскому Обществу англійскимъ ученымъ Савери (Savery). Умѣньемъ приготовлять искусственные магниты значительной силы особенно прославился въ срединѣ прошлаго столѣтія искусный строитель компасовъ Англичанинъ Кнайтъ (Knight), державшій свою методу намагничиванія въ секретѣ.

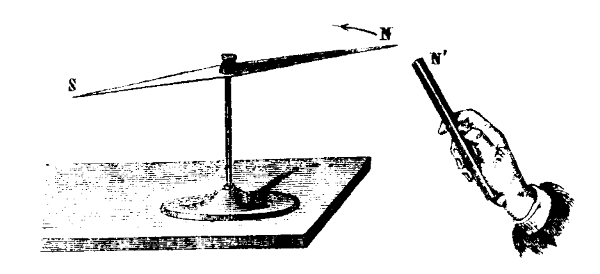
§ 314. Начальные факты магнетизма. 1) *Притяженіе желѣза*, обнаруживающееся не только при прикосновеніи, когда поднесенный кусокъ какъ бы прилипаетъ къ магниту, но и на разстояніи. Дѣйствіе это (какъ и взаимнодѣйствіе двухъ магнитовъ) обнаруживается безъ замѣтнаго ослабленія чрезъ всякаго рода тѣла, дерево, камни, стекло и проч., за исключеніемъ тѣлъ способныхъ намагничиваться, какъ желѣзо и нѣкорые другіе *). 2) *Полярность*. Обнаруживается, вопервыхъ,

*) Ниже увидимъ что всѣ тѣла болѣе или менѣе подвержены дѣйствію магнита, но обнаружить это можно только помощію особенно сильныхъ магнитовъ.

приставаніемъ опилокъ преимущественно къ концамъ магнита (фиг. 433) или его *полюсамъ* (опытъ особенно ясенъ если взять стальной искусственный магнитъ въ формѣ полосы), тогда какъ въ срединѣ замѣтнаго дѣйствія нѣтъ. Полярность обнаруживается, вовторыхъ, тѣмъ что магнитъ,—будетъ ли то кусокъ естественнаго магнита или намагниченная полоса или стрѣлка,—будучи сдѣланъ удобоподвижнымъ въ горизонтальной плоскости (повѣшенъ помощію стремени на нити или помѣщенъ на поплавкѣ, или поставленъ на острiѣ), всегда направляется такъ что ось его становится (приблизительно) по меридіану. Полюсъ магнита или стрѣлки смотрящій на сѣверъ именуется *сѣвернымъ*, другой *южнымъ*. Если отмѣтить полюсы и подносить одинъ магнитъ (фиг. 434),



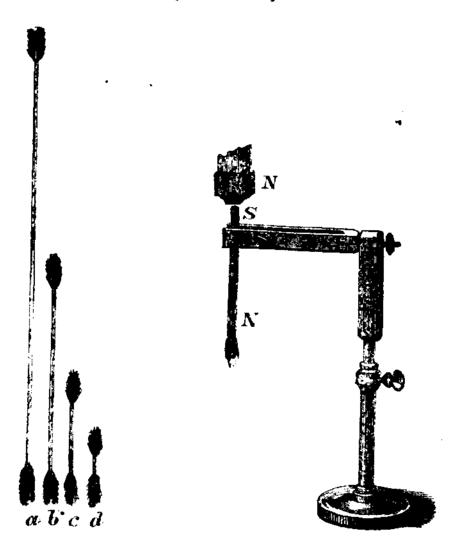
Фиг. 433.



Фиг. 434.

держа его, напримѣръ, въ рукѣ,—къ другому подвижному, то не трудно убѣдиться что ихъ *одноимённые полюсы отталкиваются между собою, а разноименные притягиваются*. Каждый магнитъ имѣетъ оба полюса: нельзя имѣть магнитъ съ однимъ полюсомъ; и если

переломить магнитную полосу (фиг. 435) по срединѣ, то оба отломка представятъ полные магниты, съ полюсами на концахъ: мѣсто гдѣ при цѣльномъ магнитѣ не обнаруживалось дѣйствія начинаетъ притягивать опилки и становится полюсомъ,—южнымъ, если отломленъ южный конецъ, и наоборотъ. 3) *Магнитное вліяніе.* Если поднести къ магниту кусокъ мягкаго желѣза, то кусокъ этотъ (фиг. 436) самъ намагничивается



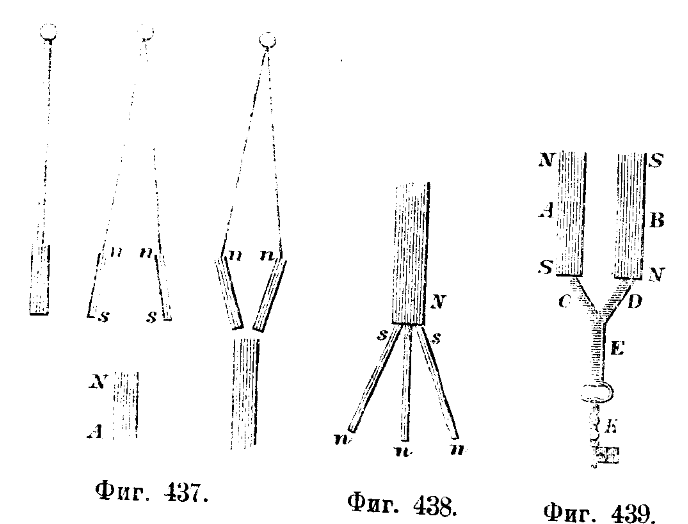
Фиг. 435. Фиг. 436.

и становится временнымъ магнитомъ, съ обоими полюсами, причемъ если кусокъ приближенъ къ сѣверному полюсу, то на ближайшемъ его концѣ возбуждается южный полюсъ S (притягиваемый), на удаленномъ одноименный сѣверный N (отталкиваемый). Присутствіе и качество полюсовъ можно обнаружить прилипаніемъ опилокъ, дѣйствіемъ на маленькую близко подносимую стрѣлку, намагниченіемъ стальной иголки. Магнитнымъ вліяніемъ, то-есть временнымъ намагниченіемъ ку-

ска желѣза, объясняется самое притяженіе желѣза магнитомъ: оно есть слѣдствіе взаимнаго притяженія полюса магнита и временнаго противоположнаго полюса возбужденнаго въ ближайшемъ къ магниту концѣ желѣза. Всѣ магнитныя явленія въ мягкомъ желѣзѣ объясняются дѣйствіемъ магнитнаго вліянія. Временный магнетизмъ этотъ возбуждается тотчасъ по поднесеніи желѣза и тотчасъ же исчезаетъ при его удаленіи. 4) *Намагничиваніе.* Если вмѣсто мягкаго желѣза поднести къ какому-нибудь полюсу магнита кусокъ стали, то магнитное вліяніе обнаруживается и въ этомъ случаѣ, но съ тою разницей что оно бываетъ вообще слабѣе чѣмъ въ случаѣ желѣза; возбужденіе магнетизма достигаетъ наибольшей соотвѣтствующей данному случаю величины не тотчасъ, а постепенно, но за то значительная часть возбужденнаго магнетизма сохраняется и послѣ того какъ кусокъ удаленъ отъ магнита: сталь пріобрѣтаетъ *постоянную* магнитность, становится болѣе или менѣе сильнымъ искусственнымъ магнитомъ. Замѣтимъ что случай мягкаго желѣза пріобрѣтающаго магнитность лишь когда оно находится въ присутствіи магнита и *безъ слѣда* ее теряющаго при удаленіи есть, строго говоря, случай теоретическій. На практикѣ желѣзо обыкновенно сохраняетъ нѣкоторый *остаточный* магнетизмъ, и между идеальнымъ мягкимъ желѣзомъ, къ которому практически употребляемые куски могутъ болѣе или менѣе приближаться, и сталью есть цѣлый рядъ постепенныхъ переходовъ.

§ 315. Нѣсколько опытовъ, объясняемыхъ магнитнымъ вліяніемъ. 1) Замѣчено что *притяженіе* разноименныхъ полюсовъ двухъ сближенныхъ концами магнитовъ значительно сильнѣе, чѣмъ отталкиваніе ихъ одноименныхъ полюсовъ въ подобномъ же случаѣ. Это есть слѣдствіе вліянія, ибо когда прикасаются, или близки между собою, разноименные полюсы, то дѣйствіе вліянія имѣетъ результатомъ усиленіе ихъ противоположнаго намагниченія. Но если сближены одноименные полюсы, то вліяніе имѣетъ обратное значеніе: полюсъ перваго магнита возбу-

ждаетъ въ приближенномъ концѣ втораго противоположную магнитность, которая и ослабляетъ силу находящагося тамъ одноименнаго съ первымъ полюса. Если одинъ, магнитъ силенъ то дѣйствіе вліянія беретъ верхъ надъ постояннымъ магнетизмомъ: маленькій магнитъ притягивается большимъ хотя бы былъ поднесено къ нему одноименнымъ полюсомъ, испытывающимъ, при достаточномъ разстояніи, отталкиваніе. 2) Повѣсивъ на нитяхъ (фиг. 437) двѣ небольшія полоски мягкаго желѣза, приблизимъ ихъ къ какому-нибудь, напримѣръ къ сѣверному, полюсу N магнита. Концы s и s сдѣлаются южными полюсам, концы n и n сѣверными. Какъ тѣ такъ и другіе взаимно оттолкнутся. Отталкиваніе еще увеличится, если магнитъ станетъ ближе; но на нѣкоторомъ разстояніи притяженіе полюса N пересилитъ взаимное отталкиваніе полюсовъ s, и они сблизятся, тогда какъ n и n будутъ продолжать отталкиваться. Отъ подобной же причины расходятся концы n желѣзныхъ полосокъ приставшихъ къ полюсу сильнаго магнита (фиг. 438). 3) Приложимъ вилкообразную полосу желѣза (фиг. 439) CDE вѣтвію D къ



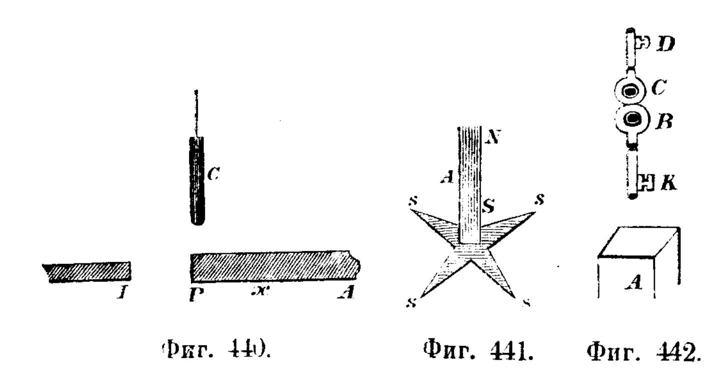
Фиг. 437.

Фиг. 438.

Фиг. 439.

полюсу N магнита B; иолоса намагнитится чрезъ вліяніе, и конецъ E обнаружитъ южный полюсъ, который и притянетъ ключъ K. Но если другою вѣтвію C прикоснемся въ то же время къ полюсу S одинаковаго съ B магнита A, то ключъ упадетъ, ибо магнитъ A возбудитъ въ E сѣверный полюсъ, который и уничтожитъ или нейтрализуетъ южный магнетизмъ возбужденный магнитомъ B. 4) Привѣсивъ полосу C мяг-

каго желѣза (фиг. 440) къ коромыслу вѣсовъ, помѣстимъ подъ нею конецъ P магнита PA и уравновѣсимъ притяженіе магнита грузомъ положеннымъ на противоположную чашку вѣсовъ. Если приблизить другую полосу желѣза I, то въ ея ближайшемъ къ P концѣ возбудится противоположный полюсъ, котораго дѣйствіе и ослабитъ дѣйствіе полюса P: грузъ перетянетъ, свидѣтельствуя что сила тянущая желѣзо C внизъ уменьшилась. 5) Если приблизить къ срединѣ куска мягкаго желѣза, имѣющаго звѣздообразную форму (фиг 441), полюсъ (напримѣръ южный) магнита, то въ центрѣ звѣзды возбудится сѣверный полюсъ, а при концахъ будутъ южные полюсы. Еслибы вмѣсто звѣзды былъ кругъ, то южнымъ полюсомъ была бы каждая точка его окружности. Такое возбужденіе полярности уясняетъ почему желѣзо помѣщенное между магнитомъ



Фиг. 440.

Фиг. 441.

Фиг. 442.

и стрѣлкою или другимъ кускомъ желѣза какъ бы задерживаетъ дѣйствіе магнита, играя роль загораживающаго экрана. Листъ желѣза помѣщенный, напримѣръ, между полюсомъ P (фиг. 440) и кускомъ C пріобрѣтаетъ около линіи соединяющей P съ C протовоположную съ P полярность и оказываетъ на C дѣйствіе противное дѣйствію P. 5) Надъ сильнымъ магнитомъ помѣщаютъ (фиг. 442) два куска совершенно ненамагниченнаго желѣза, напримѣръ два желѣзные ключа, такъ что ключъ C пристанетъ къ ключу B. Держа въ рукѣ ключъ C, можно оба удалить на довольно значительное разстояніе отъ магнита и ключъ B не упадетъ. Притяженіе между C и B (въ прикосновеніи) сильнѣе чѣмъ между A и K (на разстояніи). Если ключъ C вывести въ бокъ отъ направленія продолженной оси магнита, то ключъ B приметъ наклонное положеніе, свидѣтельствующее что магнитъ A конецъ K сильно притягиваетъ.

§ 316. Законы взаимнаго дѣйствія магнитовъ. Опытъ съ опилками, пристающими главнымъ образомъ къ концамъ магнитной полосы, свидѣтельствуетъ что дѣйствіе магнита можно разсматривать какъ бы сосредоточеннымъ при его концахъ или полюсахъ. Если примемъ такое допущеніе, то взаимное дѣйствіе двухъ магнитовъ приводится къ четыремъ силамъ: притяженіе оказываемое полюсомъ N перваго магнита на разноименный полюсъ втораго; отталкиваніе оказываемое тѣмъ же полюсомъ на одноименный полюсъ втораго; притяженіе полюса S перваго магнита и разноименнаго полюса втораго и, наконецъ, отталкиваніе между полюсомъ S перваго магнита и одноименнымъ полюсомъ втораго. Какъ показали изслѣдованія французскаго ученаго конца прошлаго столѣтія, Куломба*) и другихъ ученыхъ, дѣйствіемъ такихъ силъ,—если притомъ принять что притяженія и отталкиванія каждыхъ двухъ полюсовъ измѣняются *обратно пропорціонально квадрату ихъ взаимнаго разстоянія*,—объясняются всѣ случаи взаимнаго дѣйствія двухъ магнитовъ, если только они не близко находятся одинъ отъ другаго (въ случаѣ близости нельзя приводить дѣйствіе цѣлаго магнита къ дѣйствію двухъ его точекъ—полюсовъ) и если въ явленіи не участвуетъ магнитное вліяніе. Въ случаѣ магнитовъ изъ хорошо закаленной стали, не близко помѣщенныхъ одинъ отъ другаго, дѣйствіе вліянія можно считать ничтожнымъ и магниты *постоянными*. Можно выразить формулой взаимное дѣстіе двухъ полюсовъ, находящихся на разстояніи r одинъ отъ другаго и магнитное напряженіе которыхъ (или *количество магнетизма* въ нихъ сосредоточеннаго) есть перваго m, втораго m'. Дѣйствіе будетъ пропорціонально выраженію $\frac{m \cdot m,}{r^2}$.

§ 317. Ученіе о магнитныхъ элементахъ. Въ чемъ состоитъ намагниченіе. Лишь приблизительно можно разсматривать дѣйствіе магнита сосредоточеннымъ въ его полюсахъ. Было уже упомянуто что каждая отломленная отъ магнита часть обнаруживаетъ полярность и является сама полнымъ магнитомъ. На основаніи этого факта можно весь магнитъ разсматривать какъ совокупность маленькихъ магнитовъ или *магнитныхъ элементовъ*. Сложенные вмѣстѣ, такъ что ихъ одинаковые полюсы смотрятъ въ одну сторону, они образуютъ магнитъ и оказываютъ совокупное дѣйствіе, которое,—когда оно простирается *вдаль*, — можно приблизительно разсматривать какъ бы выходящимъ изъ двухъ центровъ противоположнаго свойства, име-

*) Родился въ Ангулемѣ въ 1736 году; былъ инженеромъ, но при началѣ революціи оставилъ службу. Членъ Французскаго Института. Прославился изслѣдованіями въ области магнетизма и электричества, сдѣланными главнымъ образомъ помощію изобрѣтенныхъ имъ *крутильныхъ вѣсовъ*. Умеръ 1806 года.

нуемыхъ полюсами. Изучая притягательныя и отталкивательныя дѣйствія *вблизи* самаго магнита, можно убѣдиться что дѣйствіе магнита въ срединѣ (предполагаемъ магнитъ искусственный, имѣющій форму полосы) равно нулю и увеличивается отъ средины къ концамъ (уже опытъ съ опилками, пристающими въ обиліи къ концамъ и оставляющими средину свободною, свидѣтельствуетъ о такомъ распредѣленіи магнетизма). Изъ того что средина не обнаруживаетъ дѣйствія не слѣдуетъ однако что элементы лежащіе къ срединѣ магнита не намагничены. Составляя полосу изъ отдѣльныхъ частей плотно сближенныхъ и намагнитивъ ее какъ бы одну полосу, получимъ искусственный магнитъ съ магнетизмомъ возрастающимъ отъ средины къ концамъ. Но если раздѣлимъ полосу на ея части, то можно убѣдиться что части соотвѣтствующія срединѣ не только намагничены, но и намагничены еще сильнѣе крайнихъ, хотя дѣйствующими, или какъ это говорится, имѣющими *свободный* магнетизмъ, оказываются главнымъ образомъ эти послѣднія

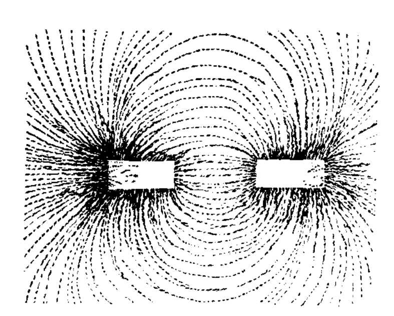
Относительно явленія *намагниченія*, т.-е. того какимъ образомъ въ кускѣ желѣза или стали обнаруживаются *магнитные элементы*, есть два воззрѣнія. Согласно одному изъ нихъ, допускается что магнитные элементы находятся уже и въ ненамагниченномъ кускѣ, но не имѣютъ тамъ правильнаго расположенія; оси ихъ не параллельны между собою, а имѣютъ всевозможныя направленія, вслѣдствіе чего магнитное дѣйствіе всего куска на какую-нибудь внѣшнюю точку равно нулю: одна часть элементовъ оказываетъ притягательное дѣйствіе, тогда какъ другая отталкивательное, и вслѣдствіе случайности распредѣленія элементовъ нѣтъ основанія чтобъ одно дѣйствіе преобладало надъ другимъ. Намагничиваніе состоитъ въ томъ что элементы эти въ значительномъ числѣ поворачиваются внутри куска такъ что оси ихъ приближаются къ параллельности, направляясь одноименными полюсами въ одну сторону, въ зависимости отъ качества намагничивающаго полюса. Въ мягкомъ желѣзѣ такое поворачиваніе элементовъ не встрѣчаетъ препятствія, и тѣло это легко магнитится, но легко также и теряетъ магнетизмъ, когда съ удаленіемъ намагничивающей причины, элементы опять возвращаются въ прежнее положеніе, зависящее отъ взаимнаго дѣйствія частицъ помимо магнитныхъ свойствъ. Въ стали поворачиваніе элементовъ встрѣчаетъ значительныя препятствія, но элементы разъ выведенные изъ своего положенія въ новое устанавливаются въ немъ прочно и, по удаленіи намагничивающей причины, не возвращаются назадъ: кусокъ пріобрѣтаетъ постоянный магнетизмъ.

Согласно другому представленію, полярность въ элементахъ куска возбуждается только дѣйствіемъ намагничивающей причины, и намагниченіе состоитъ не въ поворачиваніи готовыхъ магнитныхъ элементовъ, а во внутреннемъ измѣненіи каждаго элемента, вслѣдствіе котораго онъ пріобрѣтаетъ полярность,

становится магнитнымъ. Чтобы пояснить въ чемъ можетъ состоять это внутреннее измѣненіе, прибѣгаютъ обыкновенно къ гипотезѣ магнитныхъ жидкостей. Допускается что существуютъ двѣ магнитныя жидкости *); частицы каждой изъ нихъ взаимно отталкиваются, частицы же одной притягиваются частицами другой. Въ ненамагниченномъ элементѣ частицы смѣшаны между собою и будучи въ одинаковомъ количествѣ нейтрализуются взаимно. Подъ вліяніемъ намагничивающей причины одна изъ жидкостей скопляется у одного, другая у другаго конца элемента: онъ пріобрѣтаетъ полярность. Съ удаленіемъ причины, жидкости вновь соединяются. Такимъ образомъ объясняется временное намагниченіе желѣза (магнитное вліяніе). Въ элементахъ стали есть какое-то препятствіе передвиженію жидкостей и потому онѣ раздѣляются съ трудомъ, но разъ раздѣленныя остаются таковыми, несмотря на взаимное притяженіе. Многіе предпочитаютъ первое воззрѣніе, такъ какъ оно легче согласуется съ электрическою теоріей магнитныхъ явленій, о которой скажемъ ниже.

§ 318. Вліяніе теплоты на магнитное состояніе тѣла. Сила постояннаго магнита, искуственнаго или естественнаго, уменьшается по мѣрѣ возвышенія температуры; но если возвышеніе было не велико, то при охлажденіи вновь возрастаетъ до прежней степени. Въ случаѣ значительнаго нагрѣванія магнетизмъ утрачивается окончательно (естественные магниты теряютъ магнитность при раскаленіи, стальные уже около 350°). Способность мягкаго желѣза временно намагничиваться чрезъ вліяніе, напротивъ того, усиливается при возвышеніи температуры до краснокаленія; затѣмъ уменьшается и при бѣлокаленіи утрачивается совсѣмъ.

§ 319. Магнитныя кривыя или линіи магнитной силы. Если помѣстить полюсы вертикально поставленнаго подковообразнаго магнита, или цѣлый магнитъ, если онъ имѣетъ форму полосы, непосредственно подъ горизонтальною стеклянною доской или рамкой съ наклеенною бумагой, и осторожно насыпать (лучше всего сквозь сито) на поверхность стекла или бумаги мелкія желѣзныя опилки, слегка притомъ ударяя по поверхности, то опилки расположатся правильною фигурой, образуя такъ-называемыя *магнитныя кривыя*. Концы полосы или подковообразнаго магнита обозначатся бородкой приставшихъ по краямъ опилокъ, распространяющеюся вѣтвями изображенными на фиг. 443. Явленіе



Фиг. 443.

объясняется магнитнымъ вліяніемъ. Каждая опилка есть какъ бы малая стрѣлка, въ которой возбуждается магнитная полярность и которая въ каждомъ пунктѣ вокругъ магнита располагается по тому направленію какое приняла бы (еслибы дѣйствіемъ земли можно было пренебречь) дѣйствительная магнитная стрѣлка въ этомъ пунктѣ помѣщенная. Соединяясь разнородными

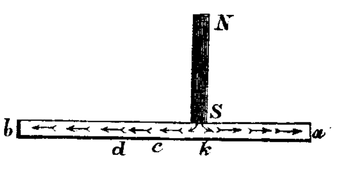
*) Объясненіе явленій магнетизма помощію особой магнитной жидкости, характеризующейся тѣмъ что частицы ея отталкиваются одна другою, утверждено въ наукѣ Эпинусомъ (членомъ Петербургской Академіи Наукъ), въ срединѣ прошлаго столѣтія. Впослѣдствіи приняли двѣ жидкости: частицы каждой изъ нихъ взаимно отталкиваются, частицы одной притягиваются частицами другой. Уже первые изслѣдователи электрическихъ и магнитныхъ явленій говорили объ электрической и магнитной матеріяхъ, но дѣйствіе ихъ объясняли не притягательными и отталкивательными силами, а тѣмъ что онѣ образуютъ собою потоки или вихри, проходящіе чрезъ одни тѣла, увлекающіе другія. Франклинъ высказалъ гипотезу объ электрической жидкости со взаимно отталкивающимися частицами. Эпинусъ разработалъ эту теорію математически и распространилъ на магнитныя явленія. Такъ какъ въ ту эпоху многіе ученые идею о потокѣ вещества считали болѣе яснымъ механическимъ представленіемъ чѣмъ идею о притягательной или отталкивательной силѣ, то Эпинусъ, отвѣчая имъ, дѣлаетъ (въ рѣчи *О сходствѣ электрической силы съ магнитною,* произнесенной въ Петербургѣ въ 1758 году и изданной по-латыни и по-русски) слѣдующія замѣчанія. „Что такія силы въ самой натурѣ есть, то ясно видимъ, и что всѣхъ явленій онѣ суть главныя и начальныя причины, хотя начало ихъ намъ безъизвѣстно. Я не понимаю въ чемъ тотъ погрѣшаетъ кто явленія изъ первоначальныхъ силъ изъясняетъ, хотя бы начало ихъ было неизвѣстно. Правда что неосторожные великаго Ньютона послѣдователи ученіе его тѣмъ попортили, что притягательную и отталкивательную силы за природное тѣламъ качество почитаютъ и никакой внѣшней причины помянутыхъ силъ признавать не хотятъ. Но я не такъ думаю и охотно признаю что видимыя въ натурѣ притяженія и отталкиванія зависятъ отъ какой-нибудь внѣшней причины, и какая бы она была, въ томъ лучше признаться хочу что мнѣ неизвѣстна, нежели неосновательныя положенія выдумывать.“

полюсами, опилки образуютъ магнитныя кривыя. Если бы по направленію какой-нибудь изъ этихъ кривыхъ мы стали перемѣщать магнитную стрѣлку, то она въ каждомъ пунктѣ была бы касательною къ кривой. Оправдать такое представленіе можно, помѣщая на самомъ дѣлѣ магнитную стрѣлку въ разныхъ пунктахъ магнитнаго поля (пространства куда простирается дѣйствіе магнита). Но при этомъ не должно упускать изъ виду что магнитная стрѣлка дѣйствіемъ земли удерживается въ опредѣленномъ направленіи. Потому, чтобъ опредѣлить направляющее дѣйствіе магнита на стрѣлку независимо отъ дѣйствія земли, надо или взять магнитъ такой силы чтобы дѣйствіемъ земли можно было пренебречь, или, вмѣсто того чтобы перемѣщать стрѣлку, ставить самый магнитъ въ разныхъ мѣстахъ около стрѣлки, помѣщая его подъ такимъ наклономъ къ линіи соединяющей его центръ съ центромъ стрѣлки, чтобы стрѣлка осталась въ томъ же положеніи какъ еслибы магнита не было (направленіе дѣйствія магнита будетъ въ такомъ случаѣ совпадать съ направленіемъ дѣйствія земли). Знаменитый англійскій физикъ нынѣшняго столѣтія Фарадей (умеръ въ 1867 году) даетъ магнитнымъ кривымъ важное теоретическое значеніе, допуская что ихъ направленіемъ указывается направленіе *линій магнитной силы*, къ какимъ этотъ ученый сводитъ теорію магнитныхъ явленій, принимая что желѣзо и вообще тѣла притягиваемыя магнитомъ стремятся въ тѣ мѣста магнитнаго поля, гдѣ линіи силы тѣснѣе сходятся.

§ 320. Пріемы намагничиванія. Простое помѣщеніе стальной полосы или иголки въ сосѣдствѣ магнита сообщаетъ имъ болѣе или менѣе значительную магнитную полярность. При этомъ конецъ полосы ближайшій къ сѣверному полюсу магнита пріобрѣтаетъ южную полярность, и наоборотъ. Если полоса приближенная къ данному полюсу длинна, то въ ней образуются такъ называемыя *послѣдовательныя точки*: т.-е. противоположный полюсъ въ концѣ ближайшемъ къ данному полюсу магнита, замѣмъ полюсъ одноименный, далѣе опять полюсъ разноименный сопровождаемый новымъ одноименнымъ. Намагничивающее дѣйствіе значительнѣе если полосу помѣстимъ *между* разноименными магнитными полюсами (положивъ, напримѣръ, одинъ магнитъ съ одного конца полосы на продолженіи ея длины, а другой, противоположнымъ полюсомъ, съ другаго конца).

Намагничиваніе, понятно, усиливается если намагниченный кусокъ приводится въ прикосновеніе съ намагничивающимъ полюсомъ. Оно можетъ быть еще значительно усилено если станемъ намагничиваемый кусокъ *натирать* намагничивающимъ полюсомъ, приводя послѣдовательно въ прикосновеніе съ нимъ разныя части намагничиваемой полосы, причемъ имѣетъ значеніе самое сотрясеніе, сопровождающее треніе. Пусть ab есть (фиг. 444) стальная полоса. NS натирающій магнитъ.

Проводя магнитомъ много разъ слѣва вправо къ концу a (движеніе начинается съ средины), возбудимъ въ этомъ концѣ полюсъ противуположный натирающему полюсу магнита,—сѣверный, если натирающій полюсъ S есть южный. Въ то же время конецъ b пріобрѣтетъ южную полярность. Для того чтобы концы a и b получили одинакую силу и распредѣленіе магнетизма въ полосѣ было симметрично относительно ея средины, должно подвергнуть половину b въ свою очередь натиранію, но справа влѣво и другимъ полюсомъ магнита. По мѣрѣ натиранія намагничиваніе усиливается, но лишь до извѣстнаго предѣла, далѣе котораго продолженіе натиранія не увеличиваетъ замѣтнымъ образомъ намагничиванія. Понятно что вмѣсто того чтобы магнитъ двигать по полосѣ, можно полосу двигать по магниту.

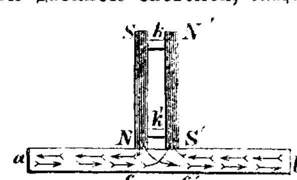


Фиг. 444.

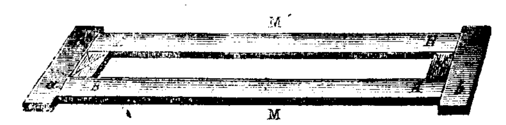
Чтобы не повторять операціи послѣдовательно то съ одной то съ другой половиной полосы, можно взять два магнита и, приложивъ ихъ противоположными полюсами въ срединѣ полосы, разводить къ концамъ, повторяя операцію много разъ. Это такъ-называемое *двойное натираніе*, которое есть то же простое натираніе, только производимое одновременно на двухъ половинахъ полосы. Двойное натираніе употреблялъ около половины прошлаго столѣтія Кнайтъ (Knight), державшій свой способъ въ секретѣ. Англійскіе ученые Кантонъ *) и Мичель (Michell) и французскій Дюгамель (около 1750, но каждый независимо отъ другаго) усовершенствовали этотъ способъ, введя новые пріемы. Двумъ первымъ принадлежитъ метода натиранія парою нераздѣльно соединенныхъ магнитовъ (метода *двойнаго прико-*

*) Кантонъ (Cantan) родился въ Глочестерширѣ 1718 года, сынъ суконщика, пріобрѣлъ въ школѣ элементарныя познанія въ математикѣ и доучивался самъ, утаивая огарки чтобы читать по ночамъ, такъ какъ отецъ не одобрялъ его занятій книгами и перемѣнилъ мнѣніе лишь когда сынъ сдѣлалъ солнечные часы, дивившіе сосѣдей. Въ 1737 году переѣхалъ въ Лондонъ и поступилъ ассистентомъ къ одному изъ столичныхъ преподавателей физическихъ наукъ. Въ 1750 году обратилъ на себя всеобщее вниманіе мемуаромъ о намагничиваніи, доставившемъ ему званіе члена Королевскаго Общества и золотую медаль. Первый въ Англіи повторялъ опыты Франклина надъ электричествомъ облаковъ. Опыты надъ сжатіемъ воды доставили ему вторую золотую медаль отъ Королевскаго Общества. Умеръ въ 1772 Замѣчателенъ искусствомъ производить открытія и изслѣдованія съ самыми простыми средствами. Въ опытахъ съ намагничиваніемъ источникомъ магнитной силы для него были каминны-

прикосновенія по наименованію Мичеля). Полосу натираютъ такою двойною системой, защемивъ (фиг. 445 между магнитами кусочекъ дерева (Мичель) или толстую иглу (Кантонъ) и начиная движеніе со средины и продолжая его отъ конца къ концу взадъ и впередъ и окончивъ опять у средины. Для усиленія дѣйствія, къ концамъ намагничиваемой полосы начали прилагать, по ея длинѣ, магниты (фиг. 447), прикасающіеся къ концамъ ея полюсами противоположнымъ съ тѣми какіе въ этихъ концахъ возбуждаются натираніемъ (Мичель). Кантонъ

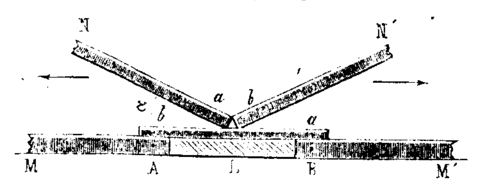


Фиг. 445.



Фиг. 446.

бралъ двѣ намагниченныя полосы, помѣщалъ ихъ параллельно между собою и прилагалъ къ концамъ поперечно по полосѣ мягкаго желѣза, такъ что всѣ четыре куска составляли (фиг. 447



Фиг. 447.

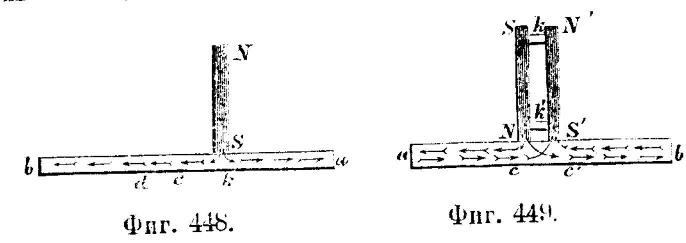
четыреугольникъ. То же расположеніе употреблялъ Дюгамель производя двойное натираніе раздѣленными магнитами, которые онъ ставилъ не перпендикулярно, но наклонно (фиг. 447), чрезъ что, какъ показалъ опытъ, дѣйствіе усиливается. Эпинусъ соединялъ концы, вмѣсто полосъ мягкаго желѣза, магнитами, натираніе же производилъ по методѣ Мичеля, причемъ магниты ставилъ не вертикально, а наклонно одинъ къ другому.

Самый процессъ намагниченія въ указанныхъ случаяхъ можно представить себѣ слѣдующимъ образомъ. Начнемъ съ про-

---

щипцы намагниченныя магнитнымъ дѣйствіемъ земли; намагничивая ими постепенно рядъ полосъ и систематически пользуясь этими полосами для послѣдующихъ намагничиваній, получалъ сильные магниты.

стаго натиранія. Вслѣдствіе дѣйствія (фиг. 448) полюса S обнаруживается полярность въ магнитныхъ элементахъ стальной полосы, причемъ каждый элементъ въ своемъ концѣ направленномъ къ полюсу S пріобрѣтаетъ противоположный съ нимъ полюсъ. По мѣрѣ того какъ магнитъ передвигается вправо каждый элементъ, поверхъ котораго онъ проходитъ, *перемагничивается*, получая противоположный S полюсъ въ правомъ концѣ. Такой полюсъ и остается при концѣ a, когда магнитъ сойдетъ съ полосы. То обстоятельство что элементы перемагничиваются, по мѣрѣ перемѣщенія магнита, дѣйствуетъ въ ущербъ



Фиг. 448. Фиг. 449.

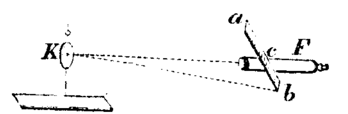
намагничиванію, которое было бы сильнѣе, еслибъ это ослабляющее вліяніе было устранено или уменьшено. Это вліяніе слабѣе въ случаѣ методы двойнаго прикосновенія. Элементы лежащіе въ промежуткѣ между полюсами натирающей пары магнитовъ (фиг. 449), вслѣдствіе согласнаго вліянія этихъ полюсовъ, намагничиваются сильно, тогда какъ элементы лежащіе внѣ этого промежутка, подчиняясь разности дѣйствія полюсовъ, намагничиваются слабо, слабѣе чѣмъ еслибы въ прикосновеніи со сталью былъ одинъ полюсъ, какъ въ предыдущемъ случаѣ.

§ 321. Дѣйствіе земли на горизонтально обращающійся магнитъ. Магнитная стрѣлка или полоса, помѣщенная такъ что можетъ свободно обращаться въ горизонтальной плоскости становится, какъ выше сказано, приблизительно въ сѣверо-южномъ направленіи. Вертикальная плоскость проведенная чрезъ направленіе стрѣлки называется магнитнымъ меридіаномъ. Еслибы стрѣлка въ данномъ мѣстѣ точнымъ образомъ направлялась отъ сѣвера къ югу, то магнитный меридіанъ совпадалъ бы съ географическимъ, и стрѣлка прямо показала бы направленіе полуденной линіи (т.-е пересѣченія плоскости горизонта съ плоскостью меридіана). Но обыкновенно магнитный меридіанъ съ

географическимъ (или что то же—направленіе стрѣлки съ полуденною линіей) образуетъ уголъ, именуемый *склоненіемъ* стрѣлки (declinaison, Abweichung, declination). Склоненіе въ различныхъ мѣстахъ различно и въ данномъ мѣстѣ измѣняется съ теченіемъ времени.

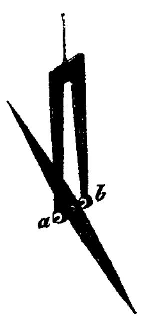
Нынѣ линія безъ склоненія (т.-е. соединяющая мѣста гдѣ склоненіе равно нулю) проходитъ въ сѣверо-южномъ направленіи чрезъ европейскую Россію. Въ мѣстахъ къ востоку отъ этой линіи склоненіе восточное; въ лежащихъ къ западу отъ нея—западное (въ Москвѣ склоненіе около 3°; въ Парижѣ около 20°, въ Берлинѣ около 16° къ западу). Другая линія безъ склоненія проходитъ чрезъ Америку. Чтобы дать понятіе объ измѣненіи склоненія съ теченіемъ времени, укажемъ, напримѣръ, что въ Парижѣ въ 1618 году склоненіе было 8° къ востоку, въ 1663 равнялось нулю, въ 1770 было 8° къ западу, въ 1814 достигло 22½° къ западу, къ шестидесятымъ годамъ уменьшилось до 20°.

Кромѣ постепенныхъ отступленій отъ года къ году (вѣковыя отступленія) магнитная стрѣлка постоянно испытываетъ небольшія качанія, слабо измѣняя свое среднее положеніе то къ западу, то къ востоку, обнаруживая притомъ суточный періодъ. Чтобы съ точностію наблюдать малѣйшія отклоненія магнита употребляется метода указанная берлинскимъ профессоромъ Поггендорфомъ и во второй четверти нынѣшняго столѣтія приложенная знаменитымъ геттингенскимъ математикомъ Гауссомъ къ наблюденію магнитныхъ явленій. Магнитная полоса снабжается зеркаломъ, укрѣпленнымъ перпендикулярно къ ея оси (фиг. 448). Наблюдатель съ нѣкотораго разстоянія смотритъ чрезъ трубу въ это зеркало и устанавливаетъ окуляръ такъ чтобы ясно видѣть въ зеркалѣ отраженіе раздѣленной на миллиметры скалы, присоединенной съ трубѣ (окуляръ должно нѣсколько вдвинуть сравнительно съ тѣмъ положеніемъ когда въ трубу видно самое зеркало, ибо изображеніе скалы представляется *за* зеркаломъ, т.-е. дальше чѣмъ гдѣ находится зеркало). Если труба перпендикулярна къ зеркалу, то въ срединѣ ея поля зрѣнія (гдѣ помѣщены перекрестныя нити) будетъ видно дѣленіе скалы близкое къ ея срединѣ гдѣ стоитъ нуль цифръ на ней означенныхъ (верхъ ногами, чтобы чрезъ трубу казались прямо). При малѣйшемъ отклоненіи магнита и съ нимъ зеркала, къ срединѣ поля зрѣнія придетъ другое дѣленіе скалы, именно соотвѣтствующее лучу bK свѣта идущему отъ какой-нибудь точки b скалы и отраженному отъ зеркала по направленію Kc.



Фиг. 450.

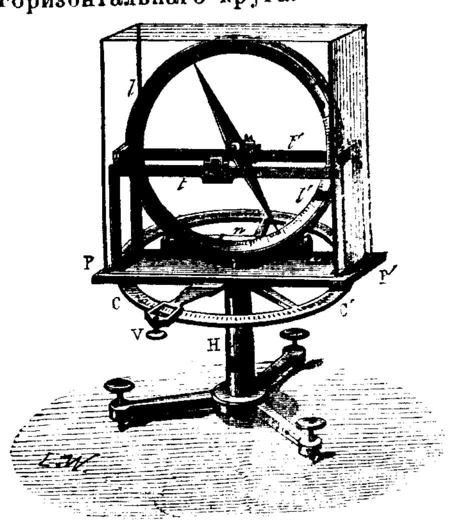
§ 322. Открытіе наклоненія магнитной стрѣлки. Истинное направленіе силы земнаго магнетизма. Гартманъ изъ Нюренберга, о которомъ упоминалось выше, замѣтилъ слѣдующій фактъ. „Я беру, говоритъ онъ, (1544), стрѣлку съ палецъ длиною и тщательно устанавливаю ее (пока она еще не намагничена) горизонтально на остріѣ, такъ что ни тотъ ни другой конецъ не наклоняются къ землѣ и стоятъ на одномъ уровнѣ. Но какъ скоро я натру тотъ или другой конецъ (стрѣлка слѣд. намагнитится), то она не останется болѣе горизонтальною, но наклоняется на нѣсколько градусовъ. Причину, почему такъ случается, указать не умѣю.“ Конецъ который нѣсколько опускается книзу, какъ бы сдѣлавшись тяжелѣе, въ нашемъ полушаріи есть тотъ который смотритъ на сѣверъ. Тотъ же фактъ независимо замѣтилъ и внимательно изучилъ Англичанинъ Робертъ Норманъ (котораго Гильбертъ зоветъ nauta peritus et ingeniosus artifex), въ семидесятыхъ годахъ XVI столѣтія. Приготовляя весьма подвижныя стрѣлки компаса, онъ постоянно замѣчалъ что стрѣлка до намагниченія стоявшая горизонтально, послѣ намагниченія опускалась сѣвернымъ концомъ нѣсколько книзу; онъ приклеивалъ въ началѣ нѣсколько воску къ южному концу, чтобы возстановить равновѣсіе; затѣмъ сталъ срѣзывать небольшую часть съ сѣвернаго конца и, разъ случайно срѣзавъ слишкомъ много, приступилъ къ внимательному изученію явленія и изобрѣлъ такъ-называемый *компасъ наклоненія*, въ которомъ стрѣлка свободно движется не въ горизонтальной, но въ вертикальной плоскости. Фиг. 451 даетъ понятія о пріемѣ Нормана для изученія наклоняющаго дѣйствія земли на



Фиг. 451.

магнитъ. Стрѣлка въ пять, шесть дюймовъ длиною снабжается горизонтальною осью, проходящею чрезъ ея центръ тяжести и вставляется въ вилкообразную оправу, такъ что можетъ свободно двигаться въ вертикальной плоскости, образуемой прорѣзомъ оправы. Оправа, въ свою очередь, вѣшается на нити. Стрѣлка можетъ, слѣдовательно, разсматриваться какъ свободно обращающаяся въ пространствѣ. Еслибъ ось стрѣлки проходила точно чрезъ ея центръ тяжести и нить не имѣла замѣтнаго крученія, то стрѣлка, пока не намагничена, должна оставаться въ равновѣсіи во всякомъ произвольно данномъ ей направленіи. Но какъ скоро она намагничена, то принимаетъ совершенно опредѣленное положеніе и, будучи изъ него выведена, послѣ нѣсколькихъ качаній, вновь въ него возращается. Не трудно усмотрѣть что въ этомъ положеніи оправа помѣщается такъ что прорѣзъ ея, которымъ опредѣляется плоскость движенія стрѣлки, приходится въ магнитномъ меридіанѣ, стрѣлка же наклоняется сѣвернымъ концомъ книзу, дѣлая съ горизонтомъ уголъ, опредѣленной величены. Въ такомъ положеніи стрѣлка своимъ направленіемъ показываетъ истинное направленіе магнитнаго дѣйствія земли. Еслибы мы повернули оправу такъ чтобъ ея прорѣзъ пришелся не въ плоскости меридіана, а въ другой какой-либо вертикальной плоскости, то сѣверный конецъ еще болѣе наклонился бы книзу; наконецъ стрѣлка стала бы вертикально, когда плоскость ея движеній была бы перпендикулярна къ магнитному меридіану. Такимъ образомъ уголъ наклоненія соотвѣтствующій меридіану есть наименьшій, онъ и именуется *наклоненіемъ* даннаго мѣста. Чтобъ удобно было помѣщать прорѣзъ оправы въ той или другой вертикальной плоскости, оправу несущую стрѣлку не вѣшаютъ на нити, а поддерживаютъ снизу, такъ что она можетъ быть поворачиваема въ то или дру-

гое положеніе. Такой снарядъ есть *компасъ наклоненія* (фиг. 452). Стрѣлка покоющаяся на горизонтальной оси свободно ходитъ по раздѣленному на градусы вертикальному кругу, который помощію ручки A можетъ быть установленъ въ той или другой вертикальной плоскости, положеніе которой опредѣляется помощію горизонтальнаго круга.



Фиг. 452.

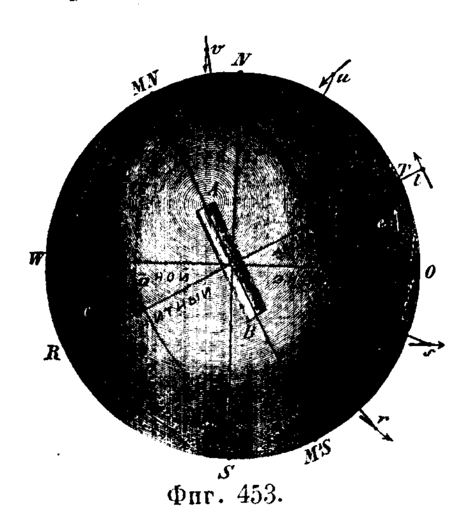
Главная трудность опытовъ происходитъ отъ того что стрѣлка въ строгомъ смыслѣ не можетъ считаться подпертою въ центрѣ тяжести, и къ дѣйствію земнаго магнетизма присоединяется дѣйствіе тяжести. Чтобы по возможности исключить вліяніе тяжести, стрѣлку, послѣ того какъ сдѣлано одно опредѣленіе, перемагничиваютъ, такъ что прежній сѣверный конецъ становится южнымъ и наоборотъ, и повторяютъ опытъ.

Чтобы найти истинное направленіе дѣйствія земли на магнитъ, Гильбертъ употреблялъ еще иной пріемъ, кромѣ компаса Нормана. Онъ протыкалъ небольшую стрѣлку сквозь пробку и соразмѣрялъ величину пробки такъ что вся система, будучи погружена въ сосудъ съ водой, оставалась взвѣшанною внутри воды (вытѣсняя количество воды равнаго вѣса съ вѣсомъ совокупности пробки и стрѣлки). Стрѣлка, если была намагничена, располагалась параллельно стрѣлкѣ наклоненія.

Наклоненіе магнитной стрѣлки различно на различныхъ мѣстахъ земной поверхности и вообще увеличивается отъ экватора къ полюсамъ. Въ Москвѣ наклоненіе составляетъ около 69°, въ Берлинѣ 67½°, въ Палермо 57°, въ Бомбеѣ около 18°, въ Мадрасѣ около 7°, на Шпицбергенѣ около 81°. Тѣ точки гдѣ наклоненіе равняется 90°, т.-е. стрѣлка наклоненія, обращающаяся въ плоскости магнитнаго меридіана, направляется вертикально (это положеніе она сохраняетъ и во всѣхъ другихъ вертикальныхъ плоскостяхъ) называются магнитными полюсами земли. Ихъ двѣ — одна въ сѣверныхъ полярныхъ странахъ, а именно въ Америкѣ, другая въ южныхъ. Точки земной поверхности гдѣ наклоненіе равно 0°, и стрѣлка въ плоскости магнитнаго меридіана направляется горизонтально, образуютъ *магнитный экваторъ* земли. Къ сѣверу отъ этого экватора наклоняющійся внизъ полюсъ есть сѣверный къ югу — южный.

§ 323. Общее понятіе о магнитномъ дѣйствіи земнаго шара. Изученіе положеній магнитной стрѣлки на различныхъ мѣстахъ земной поверхности привело къ заключенію что землю можно уподобить обращающемуся около нѣкоторой оси шару, внутри котораго (фиг. 453), вблизи его центра, находится сильный магнитъ, причемъ ось магнита не совпадаетъ съ осью вращенія шара. Этимъ объясняется почему географическіе полюсы не совпадаютъ съ *полюсами магнитными*, то-есть точками гдѣ магнитная ось пересѣкается съ земною поверхностію и гдѣ свободно во всѣхъ направленіяхъ обращающаяся магнитная стрѣлка принимаетъ вертикальное направленіе, на одномъ сѣвернымъ концемъ внизъ, на другомъ южнымъ. Такъ какъ магниты взаимно притягиваются разноименными полюсами, то уподобляя дѣйствіе земли дѣйствію воображаемаго центральнаго магнита, мы должны допустить что сѣверный конецъ этого магнита имѣетъ такую полярность какую стрѣлка имѣетъ въ своемъ

концѣ смотрящемъ на югъ. Другими словами: сѣверная половина земнаго магнита имѣетъ южный магнетизмъ и наоборотъ. Пересѣченіе шара плоскостью проходящею чрезъ центръ и перпендикулярною



Фиг. 453.

къ оси магнита отмѣчаетъ на поверхности шара большой кругъ, на протяженіи котораго стрѣлка имѣетъ горизонтальное направленіе, и наклоненіе равно нулю. Это кругъ соотвѣтствующій магнитному экватору. Плоскости перпендикулярныя къ оси магнита, но не проходящія чрезъ центръ шара отмѣчаютъ магнитныя параллели. На протяженіи каждой параллели стрѣлка должна имѣть одинакое наклоненіе, тѣмъ большее чѣмъ ближе параллель къ полюсу. Опускающіеся внизъ полюсы должны быть различны въ двухъ полушаріяхъ, раздѣляемыхъ магнитнымъ экваторомъ. Уподобленіе земли шару съ центральнымъ магнитомъ оправдывается, впрочемъ, лишь въ самыхъ общихъ чертахъ. На дѣлѣ распредѣленіе магнетизма на земной поверхности далеко не такъ просто какъ указывается этою простою схемой. Магнитный экваторъ не есть большой кругъ, а предста-

вляетъ значительные изгибы: линіи равнаго наклоненія или магнитныя параллели также не круги, а болѣе или менѣе неправильныя кривыя.

Прибавимъ что направленіе стрѣлокъ наклоненія на различныхъ мѣстахъ земной поверхности указываетъ направленіе линій магнитной силы земнаго магнита.

§ 324. Намагничивающее дѣйствіе земли. Земля, дѣйствуя какъ магнитъ, не только даетъ опредѣленное направленіе свободно обращающимся магнитнымъ стрѣлкамъ или полосамъ, но и можетъ, оказывая магнитное вліяніе, производить намагничиваніе желѣзныхъ и стальныхъ предметовъ, на ней находящихся. Направленіе стрѣлки наклоненія есть вмѣстѣ и направленіе намагничивающаго дѣйствія. И такъ какъ въ нашихъ широтахъ наклоненіе довольно значительно, то желѣзные предметы вообще въ нижнихъ своихъ частяхъ пріобрѣтаютъ сѣверную, въ верхнихъ южную полярность. Въ случаѣ мягкаго желѣза эта полярность есть временная, которую можно назвать полярностью положенія; въ случаѣ стали и не мягкаго желѣза намагниченіе можетъ сдѣлаться постояннымъ, такъ что предметъ можетъ сдѣлаться постояннымъ магнитомъ.

Относительно мягкаго желѣза еще Гримальди *) (въ срединѣ XVI вѣка, указалъ любопытный опытъ. Если поставить въ вертикальномъ или нѣсколько наклонномъ положеніи полосу *мягкаго* желѣза, то она обнаруживаетъ магнитную полярность: въ нижнемъ ея концѣ появляется сѣверный полюсъ, притягивающій южный конецъ поднесенной магнитной стрѣлки, въ верхнемъ—южный. Если перевернуть полосу, такъ что конецъ прежде бывшій на верху перемѣстится внизъ, то сѣверный полюсъ все-таки обнаружится внизу и слѣдовательно въ той части полосы которая въ первомъ опытѣ обнаруживала южную полярность, и такая перемѣна полярности обнаруживается тотчасъ какъ полоса перевернута; опытъ можно повторить неопредѣленное число разъ. Дюфе (Du Fay) **) (1728 г.) далъ этому опыту слѣдующую

*) Ученый іезуитъ, извѣстный математикъ своего времени. Родился 1617, умеръ 1663.

**) Дюфе французскій офицеръ, оставившій военную службу чтобы предаться наукѣ. Былъ дѣятельнымъ членомъ Парижской Академіи Наукъ и директоромъ Ботаническаго Сада. Умеръ въ 1739 году, 43 лѣтъ, отъ оспы.

удобную форму. «Если къ свободно покоющейся на остріѣ магнитной стрѣлкѣ поднести желѣзную полосу, про которую извѣстно что она нисколько не намагничена, (Дюфе бралъ желѣзную полосу фута въ два длиною, въ палецъ толщиною), держа ее горизонтально и подъ прямымъ угломъ къ направленію стрѣлки, то не замѣтимъ никакой перемѣны: желѣзо не окажетъ никакихъ магнитныхъ свойствъ, магнитная стрѣлка останется въ покоѣ хотя бы желѣзо было поднесено весьма близко *). Но если опустить внизъ отдаленный отъ стрѣлки конецъ, такъ чтобъ онъ описалъ четверть круга около ближайшаго къ стрѣлкѣ конца, какъ около центра, то этотъ ближайшій конецъ, приходясь теперь въ верху, тотчасъ притянетъ смотрящій на сѣверъ конецъ стрѣлки, и она отклонится изъ положенія равновѣсія“. Если же поднимемъ отдаленный конецъ кверху, то въ ближайшемъ къ стрѣлкѣ концѣ полосы полюсъ перемѣнится и конецъ этотъ будетъ притягивать на югъ смотрящій полюсъ стрѣлки.

Постоянное намагниченіе желѣзныхъ (не изъ мягкаго желѣза) и стальныхъ предметовъ чрезъ магнитное вліяніе земли обратило на себя вниманіе ученыхъ въ особенности послѣ наблюденія сдѣланнаго (въ двадцатыхъ годахъ прошлаго столѣтія) въ Шартрѣ **) и сообщеннаго Парижской Академіи Наукъ. Замѣчено было, при передѣлкѣ креста на соборной колокольнѣ, что желѣзный вертикальный стержень креста оказываетъ магнитную полярность, притягиваетъ желѣзные опилки. Этотъ случай не есть что-либо исключительное. „При всякомъ каминѣ, говоритъ (1723) Реомюръ, можно что-нибудь найти чтобъ обнаружить намагничиваніе дѣйствіемъ земли.... Каминные щипцы особенно къ тому удобны, если только остерегаться чтобъ не обращать ихъ верхней частью книзу (но вѣшать ихъ всегда одинаковымъ образомъ).. Г. Рохо (Rohault) взялъ длинный и тонкій кусокъ стали, раскалилъ ее и закалилъ держа вертикально. На концахъ

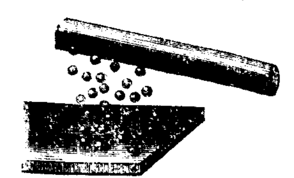
*) Еслибы стрѣлка отклонилась, то это было бы свидѣтельствомъ что полоса имѣетъ нѣкоторую постоянную магнитность, какую не должно имѣть мягкое желѣзо годное при опытѣ съ временнымъ намагничиваніемъ чрезъ вліяніе. Полоса мягкаго желѣза въ указанномъ положеніи не дѣйствуетъ на стрѣлку потому что магнитное чрезъ вліяніе земли даетъ ей полярность не въ продольномъ направленіи, а въ короткомъ поперечномъ, вслѣдствіе чего дѣйствіе верхней стороны, имѣющей южную полярность, уничтожается дѣйствіемъ очень близко находящейся нижней, имѣющей полярность сѣверную.

**) Явленіе впрочемъ наблюдалось и значительно прежде. По Гильберту въ первый разъ въ XVI вѣкѣ на колокольнѣ въ Мантуѣ.

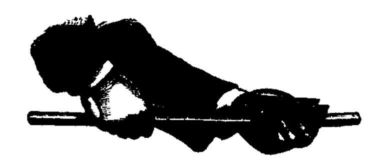
обнаружилось по магнитному полюсу... Въ мастерскихъ слѣсарей, ножевщиковъ, кузнецовъ только и встрѣчаемъ что намагниченныя орудія; почти всѣ орудія, какими пользуются рабочіе чтобы разсѣкать или прободать желѣзо, при обработкѣ холоднымъ путемъ, притягиваютъ желѣзныя опилки; нѣкоторыя даже въ состояніи поднять небольшія иголки." Реомюръ указываетъ далѣе что сотрясеніе, испытываемое орудіемъ, когда имъ обрабатываютъ желѣзо, есть существенное условіе для того чтобъ обнаружилось намагничивающее дѣйствіе земли. Точко-что закаленныя, не бывшія въ употребленіи орудія не оказываютъ магнитности. Но если взять долото или косарь и, положивъ остріемъ на желѣзо, ударить молоткомъ, то орудія эти пріобрѣтаютъ магнитность. Перегибаніе и крученіе стали также сопровождается намагниченіемъ.

II. Ученіе объ электричествѣ, возбуждаемомъ треніемъ.

§ 325. Признаки электрическаго состоянія тѣла: притяженіе легкихъ тѣлъ и свѣтъ въ формѣ сіянія или искры. Съ древности извѣстно что кусокъ янтаря натертый, напримѣръ, рукою пріобрѣтаетъ свойство притягивать отломки соломы и иныя легкія тѣла. Но до изслѣдованій Гильберта этимъ и ограничивались фактическія свѣдѣнія объ *электрическихъ* явленіяхъ *), хотя и много



Фиг. 454.



Фиг. 455.

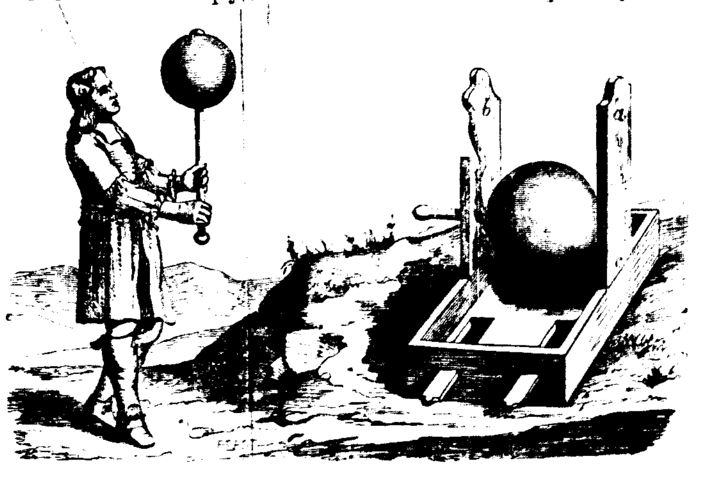
было писано объ удивительномъ свойствѣ притяженія оказываемомъ магнитомъ и натертымъ янтаремъ.

*) Терминъ *электричество* введенъ Гильбертомъ и произведенъ имъ отъ греческаго наименованія янтаря.

Гильбертъ указалъ что въ электрическое состояніе, чрезъ треніе, можно привести не только янтарь, но и многія другія тѣла: драгоцѣнныя камни, стекло, сѣру, смолы и т. д.

Гильбертъ бралъ маленькую металлическую стрѣлку (изъ мѣди или иного металла), помѣщалъ ее на остріѣ, подобно тому какъ ставится магнитная стрѣлка, и подносилъ натертый кусокъ къ ея концу, который и отклонялся вслѣдствіе электрическаго притяженія. Снарядъ былъ весьма чувствителенъ, благодаря удобоподвижности стрѣлки.

Электрическое притяженіе (фиг. 454) удобно можно обнаружить, въ весьма рѣзкой формѣ, помощію стеклянной трубки, натираемой прямо рукой или фланелью, или шелковымъ платкомъ, а всего лучше кожей (фиг. 455) покрытою амальгамой (изъ ртути, олова и цинка). Нѣсколько менѣе рѣзко опытъ обнаруживается помощію палочки сургуча, натираемаго шерстяною матеріей. Соломенки, кусочки бумаги, пробки, бузинной сердцевины и особенно золотые листочки (какъ извѣстно, чрезвычайно тонкіе) суть легкія тѣла удобныя для опытовъ. Не трудно замѣтить что нѣкоторые кусочки,



Фиг. 456.

будучи притянуты, тотчасъ съ силой отбрасывают-ся назадъ.

Изобрѣтатель воздушнаго насоса, Отто фонъ-Герике, чтобы дѣлать опыты въ значительныхъ размѣрахъ и съ удобствомъ производить натираніе, устроилъ (фиг. 456) изъ сѣрнаго шара родъ первой *электрической машины*.

Онъ описываетъ ее слѣдующимъ образомъ: „Если кому угодно (повторить мои опыты), тотъ пусть возметъ стеклянный баллонъ (sphaeram vitri),. величиною съ дѣтскую голову; наполнитъ его растолченою сѣрой и расплавитъ ее; по охлажденіи разобьетъ баллонъ, вынетъ шаръ и сохраняетъ его въ сухомъ мѣстѣ. Если угодно, можно въ шарѣ провертѣть отверстіе, чтобъ удобно было вращать его на вставленномъ желѣзномъ стержнѣ какъ на оси.“ Съ своею машиной Герике наблюдалъ не только притяженія и отталкиванія легкихъ тѣлъ, но и свѣтъ. „Если въ темной комнатѣ, говоритъ онъ, тереть шаръ сухою ладонью“, то замѣтенъ свѣтъ, подобный издаваемому „сахаромъ когда его колятъ“.

Англійскій ученый, докторъ Уалль (Wall, 1708) электризовалъ кусочки янтаря, въ формѣ длинной круглой остро оканчивающейся палочки, помощію шерстянаго платка, и поднося палецъ, получилъ электрическую искру, вылетавшую съ трескомъ „какъ отъ угля въ жаровнѣ“. Явленіе, замѣчаетъ Уалль, представляетъ въ маломъ видѣ „своимъ свѣтомъ и трескомъ какъ бы подобіе молніи и грома“.

Стеклянныя трубки натираемыя рукой, бумагой, фланелью и т. под. долгое время были главнымъ аппаратомъ при электрическихъ опытахъ. Производя пустоту, помощію воздушнаго насоса, внутри трубки или какого-нибудь стекляннаго сосуда *) и электризуя ихъ натираніемъ, можно было наблюдать мерцающее электрическое сіяніе въ пустотѣ.

---

*) Опыты англійскаго физика начала прошлаго столѣтія Гауксби (Hawksbee) и другихъ.

§ 326. Сообщеніе электрическаго состоянія тѣламъ, въ обыкновенныхъ условіяхъ чрезъ треніе не электризующимся. Первое понятіе о проводникахъ и непроводникахъ электричества. Принимая въ соображеніе что натертая стеклянная трубка въ темнотѣ даетъ искру при приближеніи къ ней какого-нибудь тѣла и слѣдовательно какъ бы „сообщаетъ ему свой свѣтъ“, Англійскій физикъ Грей (Gray) *) напалъ на мысль не можетъ ли такая трубка сообщить и электрическихъ свойствъ тѣламъ которыя обыкновеннымъ натираніемъ не электризуются. Онъ (въ 1729) взялъ стеклянную трубку фута въ три длиною, болѣе дюйма въ діаметрѣ; закрылъ ее отъ пыли пробкой и натирая замѣтилъ что не только само стекло, но и пробка обнаружила свойство притягивать легкія тѣла. Онъ вставилъ въ пробку деревянную палочку съ шарикомъ изъ слоновой кости на концѣ. При натираніи трубки, электрическія свойства передались шарику, и онъ притягивалъ легкія тѣла. Вставивъ вмѣсто палочки желѣзную проволоку въ нѣсколько футовъ, замѣнивъ потомъ проволоку веревкой съ шарикомъ на концѣ,—во всѣхъ случаяхъ замѣтилъ передачу электрическаго дѣйствія. Въ случаѣ значительной длины тѣла передававшаго дѣйствіе, нѣкоторые опыты производились съ балкона, съ цѣлію предохранить такой проводникъ отъ прикосновенія съ окружающими предметами, которымъ онъ могъ бы передать электричество.

Шарикъ слоновой кости съ успѣхомъ замѣнялся самыми разнообразными тѣлами: деревомъ, свинцомъ, пробкой, магнитомъ, мыльнымъ пузыремъ (изъ привѣшанной глиняной трубочки), раскаленнымъ желѣзомъ, цыпленкомъ, зонтикомъ и проч. Дѣйствіе на концѣ вообще было сильнѣе чѣмъ на протяженіи проводника

---

*) Членъ Лондонскаго Королевскаго Общества. Умеръ въ 1736 году; біографическихъ свѣдѣній о немъ не сохранилось.

передающаго дѣйствіе. Желая передать дѣйствіе на возможно дальнее разстояніе, Грей протянулъ веревку, привязанную однимъ концомъ къ трубкѣ, вдоль длинной галлереи и, чтобы поддержать эту веревку, перекинулъ конецъ ея, гдѣ висѣлъ шарикъ, черезъ другую веревку, протянутую поперегъ галлереи. Опытъ не удавался, но когда средина поперечной веревки, гдѣ лежалъ перекинутый конецъ, была сдѣлана изъ *шелковой* нити (въ надеждѣ что такая нить по тонкости не отвлечетъ „проходящей электрической силы"), „успѣхъ превзошелъ ожиданія", и обнаружилось явственное притяженіе. Но однажды шелковая нить оборвалась и была замѣнена тонкою металлическою проволокой. Дѣйствіе прекратилось. Грей заключилъ что успѣхъ перваго опыта происходилъ оттого что поддерживающая нить „была изъ *шелка*, а не оттого что она тонка". Въ случаѣ же когда веревка служившая къ тому чтобы передавать электрическую силу „лежала на металлѣ или другой веревкѣ,—электрическій потокъ уходилъ чрезъ нихъ въ дерево, гдѣ они были укрѣплены." Этотъ опытъ Грея далъ первое указаніе къ раздѣленію тѣлъ на *проводники* и *непроводники* (или изоляторы) электричества, самимъ Греемъ, впрочемъ, ясно не высказанному.

Французскій ученый Дюфе (1733), повторяя и пополняя опыты Грея, пробовалъ проводить электричество чрезъ различныя тѣла и пришелъ къ общему заключенію что „вещества наиболѣе способныя сами (чрезъ треніе) приводиться въ электрическое состояніе наименѣе способны передавать его на значительное разстояніе". Выходя отъ этой мысли, Дюфе открылъ твердые изоляторы. Такъ какъ шелкъ въ опытѣ Грея оказался не проводящимъ электричество, то, говоритъ онъ, „я сталъ подозрѣвать что это происходитъ отъ большаго расположенія шелка электризоваться и подумалъ что его можно замѣнить

тѣлами болѣе твердыми, имѣющими подобное свойство. Я бралъ обыкновенныя стеклянныя трубки и другія, которыя нагрѣвалъ и покрывалъ снаружи слоемъ сургуча, и съ удовольствіемъ увидѣлъ что опытъ оправдалъ мое предположеніе, ибо тѣ и другія не прерывали электрическаго потока вдоль веревки, и я пользовался ими во многихъ случаяхъ съ бо́льшимъ удобствомъ чѣмъ шелкомъ."

Терминъ *проводникъ* (conductor) введенъ англійскимъ ученымъ Дезагюлье (Desaguliers), съ ясностію указавшимъ 1739 раздѣленіе тѣлъ на два разряда по отношенію къ электричеству. Вопервыхъ *непроводники*, corpora electrica per se, которые чрезъ треніе, ударъ и т. п. приходятъ въ электрическое состояніе. Во-вторыхъ, *проводники*, corpora non electrica per se, въ которыхъ этимъ дѣйствіемъ не возбуждается электрическая сила, но которымъ наэлектризованное тѣло перваго рода можетъ сообщить свою силу, причемъ сила эта принимается заразъ всѣми частями проводника, какъ бы длиненъ и великъ онъ ни былъ... Въ непроводникѣ одна часть можетъ быть сильно наэлектризована, тогда какъ другія остаются ненаэлектризованными... Этого не можетъ быть въ проводникѣ. Наэлектризованный проводникъ чрезъ прикосновеніе руки или иного проводника заразъ утрачиваетъ электричество; непроводникъ можетъ потерять электричество въ одной части, сохраняя въ другихъ."

Употребительные металлы, уголь, графитъ, вода, растенія, животныя, пенька, хлопокъ — суть примѣры проводниковъ электричества. Сстекло, шелкъ, смолы, сѣра, янтарь, мѣлъ, сухая бумага, волосы — непроводники. Сухое дерево, мраморъ, бумага, солома — полупроводники. Сухой воздухъ и газы суть также непроводники, ибо еслибы воздухъ былъ проводникъ, то электрическіе опыты были бы невозможны. Сырой воздухъ уже значительно уводитъ электричество. Такъ же дѣйствуетъ разрѣженный воздухъ; но совершенная пустота есть, повидимому, непроводникъ (объ этомъ ниже). Земля въ своемъ цѣломъ есть огромный проводникъ. Когда наэлектризованное тѣло приводится въ сообщеніе съ землею, то электричество его распредѣляется на всемъ этомъ громадномъ проводникѣ и становится незамѣтнымъ. Электричество, какъ говорится, уходитъ въ землю.

§ 327. Изолированный кондукторъ и его употребленіе. Металлическое тѣло (полоса, цилиндръ) повѣшанное на шелковыхъ нитяхъ или укрѣпленное на стеклянной ножкѣ, вообще поддерживаемое непроводникомъ,

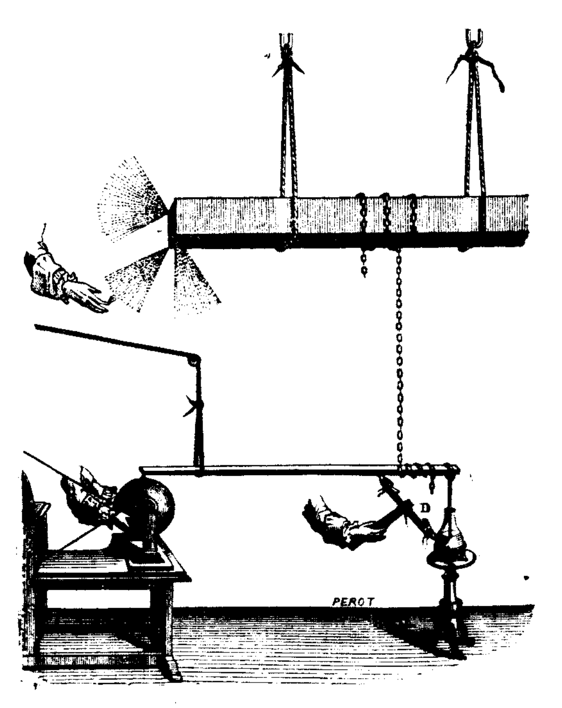
представляетъ собою *изолированный кондукторъ*, играющій важную роль при электрическихъ опытахъ. Уже Грей пользовался имъ въ формѣ свинцовой массы, повѣшанной на волосяной веревкѣ, и убѣдился что нѣтъ надобности, дабы привести кондукторъ въ наэлектризованное состояніе, касаться до него наэлектризованнымъ тѣломъ, а достаточно это тѣло держать отъ кондуктора на нѣкоторомъ разстояніи. Грей показалъ также что въ качествѣ кондуктора можно употреблять тѣло человѣка. Онъ вѣшалъ, помощію волосяныхъ веревокъ, въ горизонтальномъ положеніи девятилѣтняго мальчика и электризовалъ его, поднося къ его ногамъ натертую стеклянную трубку. Лицо мальчика сильно притягивало поднесенные металлическіе листочки.

Дюфе подобный опытъ произвелъ надъ собою. „Я повѣсилъ, говоритъ онъ, на шелковыхъ снуркахъ доску четырехъ футовъ длиною и въ футъ шириною и сѣлъ на нее протянувъ ноги вдоль доски. Тогда къ одной моей рукѣ приблизили трубку; другая, къ которой поднесли золотые листочки оказалась сильно наэлектризованной... Одинъ изъ присутствовавшихъ хотѣлъ снять листокъ приставшій къ моей ногѣ; въ тотъ моментъ какъ приблизилъ руку услышалъ трескъ подобный тому какой производитъ трубка, когда къ ней прближаютъ пальцы; онъ почувствовалъ также боль, какъ отъ укола въ палецъ, и я то же почувствовалъ въ ногѣ. Все вниманіе мое обратилось къ этому новому явленію; я хотѣлъ повторить опытъ и это оказалось очень легко. Какъ только приближали трубку къ моимъ ногамъ или къ одной изъ рукъ, и кто-нибудь руку или конецъ пальца къ моему лицу, рукамъ, ногамъ или платью, тотчасъ слышался упомянутый трескъ... Не трудно догадаться что въ темнотѣ каждому треску соотвѣтствовала бы искра свѣта. Такъ и оказалось дѣйствительно."

Изолированный кондукторъ составляетъ существенную часть каждой *электрической машины*. Первые изслѣдовали электрическихъ явленій пользовались, какъ мы видѣли, главнымъ образомъ натираемыми стеклянными трубками. Гауксби (Hawksbee) и, независимо отъ него, германскіе ученые*) стали употреблять стеклянные

*) Гаузенъ и затѣмъ Винклеръ, также Бозе.

шары и цилиндры на оси, приводимой въ движеніе помощію колеса съ перекинутымъ безконечнымъ ремнемъ. Стекло натиралось обыкновенно прикосновеніемъ руки. (Винклеръ ввелъ подушки прижимаемыя пружинами.) Фиг. 457 даетъ понятіе объ электрическихъ машинахъ



Фиг. 457.

употреблявшихся въ срединѣ прошлаго столѣтія. Это машина какою пользовался французскій ученый аббатъ Ноллетъ. Стеклянный шаръ натирался рукой Ноллетъ былъ противъ употребленія подушекъ и отличался искусствомъ возбуждать электричество треніемъ своей руки). Металлическая полоса повѣшенная на шелковыхъ снурахъ близь натираемаго шара

служила изолированнымъ кондукторомъ. Кондукторъ электризовался вслѣдствіе близости къ шару и давалъ искры при приближеніи пальца или инаго тѣла *). Еслибы не было кондуктора, то шаръ, какъ непроводникъ, доставлялъ бы электричество лишь тою своею частью какая находится въ ближайшемъ сосѣдствѣ съ поднесеннымъ тѣломъ, тогда какъ кондукторъ, будучи наэлектризованъ, доставляетъ электричество заразъ всѣми своими частями.

Бузинный шарикъ (такіе шарики введены Кантономъ) на льняной (или иной проводящей) нити, повѣшенный на штативѣ (фиг. 458 на стр. 518) изъ непроводящаго матеріала или поставленномъ на непроводникѣ, также представляетъ собою изолированный кондукторъ, полезный при многихъ опытахъ.

§ 328. **Взаимное отталкиваніе одинаково наэлектризованныхъ тѣлъ. Два рода электричества.** Дѣлая опытъ съ притяженіемъ легкихъ тѣлъ (пуха, листочковъ и т. п.) наэлектризованною стеклянною трубкой, нетрудно замѣтить что нѣкоторыя изъ притянутыхъ частицъ придя въ прикосновеніе съ трубкой, ею энергически отталкиваются. Это обстоятельство было замѣчено еще первыми изслѣдователями электрическихъ явленій. Дюфе (въ 1733) подвергъ его внимательному изученію. Онъ помнилъ опытъ описанный Отто фонъ-Герике, указывавшимъ что можно „помощію наэлектризованнаго сѣрнаго шара заставить легкое перышко перемѣщаться (предъ шаромъ) по комнатѣ, всегда оставаясь отъ шара на нѣкоторомъ разстояніи“. Въ этой формѣ опытъ не удался Дюфе; но съ помощію наэлектризованной трубки ему удалось воспроизвести явленіе и придти къ важнымъ заключеніямъ. „Натремъ, говоритъ онъ, трубку и, держа ее горизонтально, пустимъ на нее сверху внизъ частицу золотаго

*) На фиг. 457 выше перваго кондуктора изображенъ другой, соединенный съ первымъ цѣпью. У перваго кондуктора представлена разряжаемая лейденская банка.

листка.... Какъ только она коснется трубки, тотчасъ оттолкнется вверхъ на разстояніе отъ восьми до десяти дюймовъ и останется почти неподвижно въ воздухѣ. Если приблизимъ трубку, поднимая ее, частица также поднимется, оставаясь на томъ же разстояніи, такъ что ихъ нельзя привести въ прикосновеніе: такимъ образомъ можно перенести частицу куда угодно, такъ какъ она всегда будетъ убѣгать отъ трубки. Если продолжить опытъ пять, шесть минутъ, то листокъ постепенно приблизится къ трубкѣ и наконецъ упадетъ на нее; но едва коснется,—удалится съ новою силой, и это будетъ повторяться пока трубка сохранитъ электричество... Если къ листку держащемуся въ воздухѣ приблизить палецъ или иное тѣло нѣкотораго объема, то листокъ тотчасъ къ нему прикоснется и затѣмъ упадетъ на трубку, отъ которой вновь пріобрѣтетъ электричество и оттолкнется на прежнее разстояніе.“ Эти опыты, какъ и вообще обстоятельства сопровождающія притяженіе легкихъ тѣлъ наэлектризованною трубкой, Дюфе объяснилъ, допустивъ что наэлектризованное тѣло притягиваетъ ненаэлектризованное, а два наэлектризованныхъ взаимно отталкиваются. Такимъ образомъ въ случаѣ притяженія трубкою легкихъ тѣлъ, „нѣкоторыя изъ нихъ пристаютъ своими волокнами такъ что не могутъ быть оттолкнуты, хотя пріобрѣтенное электричество и стремится ихъ оттолкнуть; тѣ же съ которыми прилипанія не случилось отталкиваются трубкой, но приблизившись къ столу или сосѣднимъ тѣламъ (къ пальцу въ вышеописанномъ опытѣ), прикасаются къ нимъ и отдаютъ имъ свое электричество; необходимо притягиваются вторично, ибо уже ненаэлектризованы; отсюда эти повидимому неправильныя движенія притяженія и отталкиванія, которыя кажутся такъ трудно объяснимыми, будучи, впрочемъ, какъ видимъ, слѣдствіемъ весьма простаго принципа.“

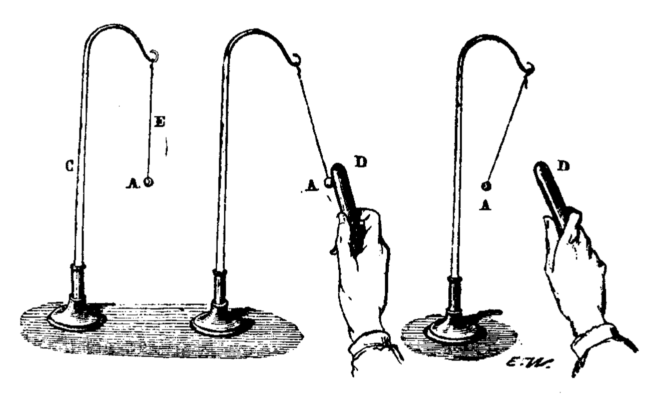
Дальнѣйшіе опыты показали что этого принципа недостаточно для объясненія всѣхъ электрическихъ притяженій и отталкиваній. „Однажды поднявъ въ воздухъ золотой листокъ помощію трубки, я приблизилъ къ нему (говоритъ Дюфе) кусокъ натертаго и слѣдовательно наэлектризованнаго копала (смолы). Листокъ тотчасъ притянулся копаломъ и такъ остался. Признаюсь, я ждалъ совсѣмъ противнаго дѣйствія, ибо согласно моему разсужденію, копалъ, какъ наэлектризованное тѣло, долженъ бы отталкивать листокъ тоже наэлектризованный. Я повторялъ опытъ много разъ... и убѣдился что копалъ *притягиваетъ* листокъ, тогда какъ трубка его *отталкиваетъ*: то же было когда я приближалъ къ листку натертый янтарь или сургучъ. Послѣ многихъ неудовлетворившихъ меня попытокъ, я приблизилъ къ листку оттолкнутому трубкой шарикъ горнаго хрусталя натертый и чрезъ то наэлектризованный: онъ *отталкивалъ* листокъ какъ и трубка. Другая наэлектризованная стеклянная трубка его также отталкивала. Я не могъ уже сомнѣваться что стекло, горный хрусталь оказываютъ дѣйствіе противоположное копалу, янтарю, сургучу, такъ что листокъ отталкиваемый одними, вслѣдствіе принятаго имъ электричества, притягивается другими. Это заставило меня думать что можетъ-быть есть два различные рода электричества. Тѣла наэлектризованныя— одно, однимъ, другое другимъ изъ этихъ электричествъ —притягиваются между собою. Два тѣла наэлектризованныя электричествомъ одного рода, отталкиваются взаимно. Послѣдующіе опыты, прибавляетъ Дюфе, укрѣпили меня въ этой мысли.“ Дюфе наименовалъ электричество развивающееся въ стеклѣ, горномъ хрусталѣ — *стекляннымъ*, въ янтарѣ, смолѣ, сургучѣ — *смолянымъ*. Но такъ какъ оказалось что данное тѣло можетъ пріобрѣтать то или другое электричество, смотря по тому какимъ другимъ тѣломъ оно натирается: стекло, напримѣръ, пріобрѣтаетъ смоляное электри-

чество, если натирать его мѣхомъ,—то Франклинъ замѣнилъ эти наименованія терминами *плюсъ-электричество* или *положительное* и *минусъ-электричество* или *отрицательное* (по обозначенію германскаго ученаго Лихтенберга, $+E$ и $-E$).

Франклинъ ввелъ эти термины потому что, согласно его теоріи, электричество есть жидкость разлитая въ природѣ и которую каждое тѣло заключаетъ въ себѣ въ опредѣленномъ, свойственномъ ему количествѣ. Пока это количество не мѣняется, тѣло не наэлектризовано. Если тѣло получаетъ избытокъ электричества противъ нормальнаго своего состоянія, оно электризуется *плюсъ-электричествомъ* или *положительно*; если въ немъ недостатокъ электричества, оно имѣетъ *минусъ-электричество* или *отрицательное*. Въ послѣдствіи предпочли разсматривать положительное и отрицательное электричество, какъ двѣ особыя жидкости, принимая что тѣло не наэлектризовано, когда въ немъ обѣ жидкости смѣшаны въ равныхъ количествахъ (ученіе Англичанина Симмера, 1759).

Чтобы пополнить свои доказательства, Дюфе взялъ „деревянную тонкую линейку, около полутора фута длиною, въ дюймъ шириною; въ срединѣ ея сдѣлалъ отверстіе около шести линій въ діаметрѣ; надъ этимъ отверстіемъ устроилъ родъ шапочки, какъ у магнитной стрѣлки (чашечка была сдѣлана изъ закрытаго кончика стеклянной трубки, въ формѣ маленькаго наперстка). Линейка устанавливалась на тонкомъ желѣзномъ остріѣ и была очень удобоподвижна... На одинъ конецъ ея помѣщался грузъ, на другой—кусокъ копала (смолы), такъ что они оставались въ равновѣсіи, чего легко было достигнуть передвигая грузъ. Копалъ былъ натертъ и чрезъ то наэлектризованъ. Когда къ нему подносили другой натертый кусокъ копала, обнаруживалось тотчасъ отталкиваніе; то же производили янтарь, сургучъ; стеклянная трубка, шарикъ хрусталя, напротивъ, обнаруживали притяженіе.“

Общій законъ что *тѣла одинаково наэлектризованныя отталкиваются взаимно, противоположно наэлектризованныя притягиваются* можно подтвердить помощію пріемовъ значительно болѣе легкихъ чѣмъ пріемы изобрѣтателя. Коснувшись бузиннаго шарика, висящаго на шелковой нити (фиг. 458), натертою стеклянною трубкой, электризуемъ его положительнымъ электричествомъ. Наэлектризовавшись, онъ тотчасъ оттолкнется. Отталкиваніе будетъ обнаруживаться каждый разъ когда станемъ приближать къ нему положительно наэлектризованое тѣло. Шарикъ будетъ



Фиг. 458.

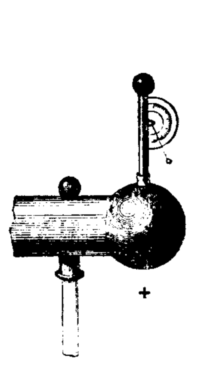
напротивъ того, притягиваться, если приблизимъ къ нему тѣло отрицательно наэлектризованное.

Взаимное отталкиванiе одинаково наэлектризованныхъ тѣлъ можно обнаружить весьма рѣзкимъ опытомъ, если помѣстить на кондукторѣ электрической машины кисть (фиг. 459) изъ бумажныхъ полосокъ: онѣ подымаются при наэлектризованiи. Подобнымъ образомъ подымаются волосы на головѣ человѣка стоящаго на непроводникѣ, напримѣръ, на скамейкѣ со стеклянными ножками, и электризуемаго.

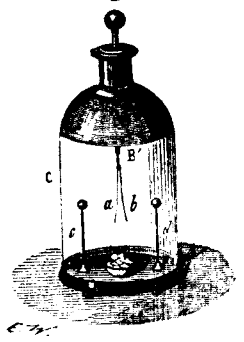
На отталкиванiи одинаково наэлктризованныхъ тѣлъ основывается устройство *электроскоповъ* и *электрометровъ*, т.-е. снарядовъ для обнаруженiя электрическаго состоянiя тѣлъ и измѣренiя степени его напряженiя. Кантонъ съ этою цѣлiю употреблялъ два бузинные шарика на льняныхъ нитяхъ, повѣшенные на изолированномъ штативѣ. Шарики расходятся, какъ скоро имъ сообщено электричество, и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ сильнѣе сообщенный зарядъ. Англiйскiй ученый Генлей (Henley) ввелъ (1772) весьма

Фиг. 459.

удобный электрометръ въ формѣ шарика на тонкомъ стержнѣ (на фиг. 460 такой электрометръ изображенъ стоящимъ на кондукторѣ машины) прикрѣпленномъ верхнимъ концомъ къ деревянной палочкѣ. Шарикъ удаляется отъ палочки при электризованiи, а раздѣленная дуга позволяетъ измѣрять уголъ отклоненiя Фиг. 461 изображаетъ электроскопъ въ наиболѣе упо-



Фиг. 460.



Фиг. 461.

требительной формѣ, состоящiй изъ двухъ тонкихъ золотыхъ листочковъ на металлическомъ стержнѣ. Листочки расходятся какъ скоро стержню сообщено электричество. Это электроскопъ англiйскаго ученаго Бенета (1787), весьма чувствительный.

§ 329. **Электрическая полярность.** При тренiи оба тѣла, и натираемое и трущее, электризуются и притомъ противоположными электричествами, такъ что возбужденiе $+E$ всегда сопровождается соотвѣтственнымъ возбужденiемъ $-E$. Это положенiе, если оба тѣла дурные проводники, не трудно оправдать, испытывая ихъ электрическое состоянiе послѣ тренiя. Но если одно изъ тѣлъ проводникъ, то возбужденное въ немъ электричество не замѣчается, ибо уводится въ землю. Такъ бываетъ, напримѣръ, при натиранiи стекла руками, ибо наше тѣло проводникъ. Чтобы въ проводникѣ обнаружить электричество,

возбуждаемое тренiемъ, проводникъ должно подвергать тренiю въ изолированномъ состоянiи (держа, напримѣръ, на непроводящей ручкѣ). Такимъ способомъ можно наэлектризовать тренiемъ металлы. *)

Положительное электричество нейтрализуется отрицательнымъ. Количество отрицательнаго электричества потребное чтобы нейтрализовать данное количество положительнаго считается *равнымъ* ему по величинѣ. При тренiи оба электричества возбуждаются въ равномъ количествѣ, такъ что еслибы соединить ихъ, то тѣла пришли бы въ ненаэлектризованное или естественное состоянiе. Соединенiе обнаруживается искрою, если производится чрезъ сближенiе тѣлъ до прикосновенiя въ воздухѣ или иной непроводящей средѣ

Справедливость этихъ положенiй Франклинъ оправдалъ слѣдующими опытами. Онъ замѣтилъ **) что „1) если человѣкъ натирающiй стеклянную трубку стоитъ на смолѣ (вообще на непроводникѣ), напримѣръ, на скамейкѣ со стеклянными ножками), а другой, также стоящiй на смолѣ, извлекаетъ изъ трубки искры (слѣдовательно, принимаетъ чрезъ сообщенiе ея электричество), и если они при этомъ не касаются одинъ другаго, то оба, для третьяго лица стоящаго на полу, оказываются наэлектризованными. Это третье лицо можетъ отъ того и отъ другаго, приблизивъ суставъ руки, получить искру. 2) Если оба стоящiя на смолѣ лица находятся въ прикосновенiи, то ни то, ни другое не электризуются. 3) Если же они прикоснутся послѣ наэлектризованiя, то это сопровождается искрой, значительно болѣе сильною чѣмъ искра между каждымъ изъ нихъ и человѣкомъ стоящимъ на землѣ. 4) Послѣ этой искры ни тотъ ни другой не обнаруживаютъ ни малѣйшаго признака электричества". Франклинъ объяснилъ эти явленiя, допустивъ что лицо натирающее стекло электризуется отрицательнымъ электричествомъ, въ то время какъ стекло электризуется положительно, сообщая свое электричество второму изолированному лицу, принимающему искры. Опыту можно

*) Опытъ былъ сдѣланъ Гебертомъ (профессоръ въ Вѣнѣ) и за нимъ аббатомъ Геммеромъ (въ Мангеймѣ) въ 1780 году. Металлическая пластинка съ загнутыми краями, укрѣпленная на стеклянной ручкѣ, натиралась шелковою лентой, проходившею по ней какъ по жолобку.

**) Еще нѣсколько прежде его подобное наблюденiе было сдѣлано въ Европѣ германскимъ ученымъ Бозе въ Виттембергѣ и изслѣдовано въ Англiи Уатсономъ.

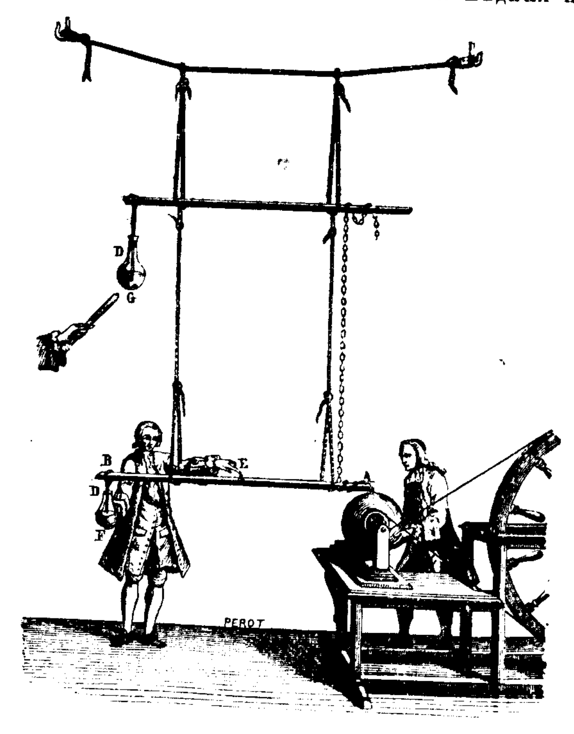
дать еще болѣе ясную форму, если, помѣстивъ двухъ наблюдателей на изолирующихъ подставкахъ, дать въ руки одному изъ нихъ лисiй хвостъ или кошачiй мѣхъ и заставить его ударять другаго (что производитъ такое же дѣйствiе какъ тренiе). И ударяемый и ударяющiй электризуются и притомъ противоположными электричествами (ударяющiй положительнымъ). Количества эти равны между собою. Когда одно тѣло прiобрѣтаетъ $+E$, которое можно разсматривать какъ нѣкоторое положительное количество, другое получаетъ $-E$, отрицательное количество, по абсолютной величинѣ равное съ первымъ. При прикосновенiи, положительное электричество нейтрализуетъ равное количество отрицательнаго, возвращая тѣла въ ненаэлектризованное состоянiе, подобно тому какъ сложенiе равныхъ величинъ съ противными знаками даетъ въ результатѣ нуль.

Данное тѣло можетъ чрезъ тренiе прiобрѣтать и положительное и отрицательное электричество, смотря по тому какимъ другимъ тѣломъ оно натирается. Тѣла стоящiя въ лѣвомъ столбцѣ электризуются положительно, будучи натираемы какими-либо изъ тѣлъ соотвѣтствующаго ряда въ правомъ столбцѣ.

+	—
стекло	амальгама на кожѣ (изъ ртути, олова и цинка).
мѣхъ	стекло, металлы, смолы.
мѣхъ, шерсть, полотно, шелкъ, металлы	смолы, янтарь.
полированное стекло . .	шерсть, полотно, шелкъ.
шелкъ	металлы.

§ 330. Замѣчательныя открытiя средины прошлаго столѣтiя значительно расширившiя область изслѣдуемыхъ электрическихъ явленiй. 1) *Открытiе лейденской банки.* Въ январѣ 1746 года, Реомюръ въ Парижѣ получилъ письмо на латинскомъ языкѣ изъ Лейдена отъ тамошняго профессора философiи и математики Мушенбрёка (Musschenbroek). Въ письмѣ было сказано: „Хочу сообщить вамъ новый и странный опытъ, который совѣтую самимъ никакъ не повторять. Я дѣлалъ нѣкоторыя изслѣдованiя надъ электрическою силой и для этой цѣли повѣсилъ (фиг. 462) на двухъ снурахъ изъ голубаго шелку желѣзный стволъ AB, получавшiй, чрезъ сообщенiе, электричество отъ стекляннаго шара, который приводился въ

быстрое вращеніе и натирался прикосновеніемъ рукъ. На другомъ концѣ *B* свободно висѣла мѣдная прово-



Фиг. 462.

лока, конецъ которой былъ погруженъ въ круглый стеклянный сосудъ *D*, отчасти наполненный водою, который я держалъ въ правой рукѣ *F*; другою же рукой я пробовалъ извлечь искры изъ наэлектризованнаго ствола. Вдругъ моя правая рука была поражена съ такою силою, что все тѣло содрогнулось какъ отъ удара молніи. Сосудъ хотя и изъ тонкаго стекла обыкновенно сотрясеніемъ этимъ не разбивается, и кисть руки не перемѣщается, но рука и все тѣло поражаются столь страшнымъ образомъ что и

сказать не могу; однимъ словомъ, я думалъ что пришелъ конецъ... Если поставить сосудъ *D* на металлическую подставку, помѣщенную на деревянномъ столѣ, и коснуться металла кончикомъ пальца, извлекая искру другою рукой, то также получается очень сильный ударъ.“

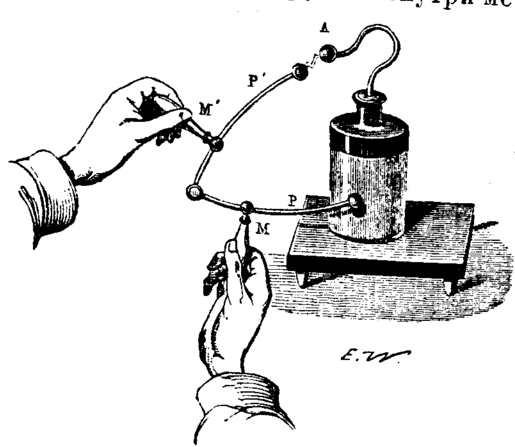
Въ своемъ, къ тому же преувеличенномъ, описаніи Мушенбрёкъ не упоминаетъ что первоначально опытъ былъ сдѣланъ не имъ, а случайно однимъ богатымъ любителемъ физики въ Лейденѣ Кунеусомъ, повторявшимъ у себя дома опыты виденные имъ у Мушенбрёка и другаго профессора Алламана. Въ послѣдствіи оказалось что и Кунеусу не принадлежитъ честь перваго открытія. Въ Германіи, Клейстъ, деканъ соборной церкви въ Каминѣ, въ Помераніи, еще въ октябрѣ 1745 года, произвелъ подобный опытъ, о которомъ и сообщилъ Берлинской академіи. Опытъ описанъ такъ: „если вставить гвоздь или толстую мѣдную проволоку въ небольшую медицинскую стклянку и электризовать, то обнаруживаются особенно сильныя дѣйствія... Если влить въ сосудъ немного ртути или нѣсколько капель спирта, то опыты удаются еще лучше... Если во время электризованія приблизить къ гвоздю палецъ или монету, то выходящій ударъ такъ силенъ что рука или плечо потрясаются.“

§ 331. Различные опыты съ Лейденскою банкой.

Лейденскій опытъ былъ повторяемъ всюду куда дошло о немъ извѣстіе и гдѣ были средства для производства электрическихъ опытовъ. Въ Парижѣ, черезъ три мѣсяца, опытъ показывали публично за деньги. Въ этомъ городѣ изслѣдованіемъ поразительнаго явленія занялся въ особенности аббатъ Ноллетъ, ученикъ Дюфе, славившійся своими чтеніями и искусствомъ производить лекціонные опыты. Онъ повторялъ опытъ съ сотрясеніемъ въ присутствіи короля въ Версалѣ, образуя цѣпь изъ двухсотъ сорока человѣкъ, взявшихся за руки, причемъ „первый держалъ въ свободной рукѣ банку, а послѣдній извлекалъ искру. Ударъ чувствовался всѣми въ тотъ же моментъ; было куріозно видѣть разнообразіе жестовъ и слышать мговенный всклиюъ исторгаемый неожиданностію у большей части получающихъ ударъ.“

Врачъ Лемонье показалъ что разрядъ можетъ проходить
чрезъ значительное протяженіе воды. Для этого онъ провелъ
по берегу пруда въ Парижскомъ Ботаническомъ Саду желѣзную
цѣпь, нигдѣ не касаясь воды; „кусокъ желѣза привязан-
ный къ пробкѣ былъ помѣщенъ плавающимъ на водѣ близь
того конца цѣпи гдѣ былъ Лемонье съ лейденскою банкой. Дру-
гой наблюдатель, взявъ одною рукой второй конецъ цѣпи, дру-
гую погрузилъ въ воду. Тогда Лемонье, держа въ одной рукѣ
ближайшій къ нему конецъ цѣпи, въ другой банку, приблизилъ
(къ проводнику этой послѣдней) проволоку, соединенную съ кус-
комъ желѣза, плававшимъ на водѣ. Въ то же мгновеніе оба на-
блюдателя почувствовали сотрясеніе лейденскаго опыта.“
Въ Англіи Уатсонъ заставлялъ разрядъ проходить чрезъ
Темзу. Въ Германіи опытами съ лейденскою банкой занимались:
Гралатъ, соединявшій банки въ баттарею; Винклеръ, Бозе и
другіе. Винклеръ, въ Лейпцигѣ, когда въ первый разъ произ-
велъ лейденскій опытъ, ощутилъ конвульсіи во всемъ тѣлѣ и
послѣ чувствовалъ такой жаръ, что боялся горячки; правою ру-
кой восемь дней не могъ писать. Бозе, авторъ цѣлаго стихотво-
ренія объ электричествѣ, такъ проникся энтузіазмомъ къ ново-
му опыту, что высказалъ желаніе быть убитымъ электрическимъ
разрядомъ, дабы его смерть послужила предметомъ статьи въ
изданіяхъ Парижской Академіи Наукъ.

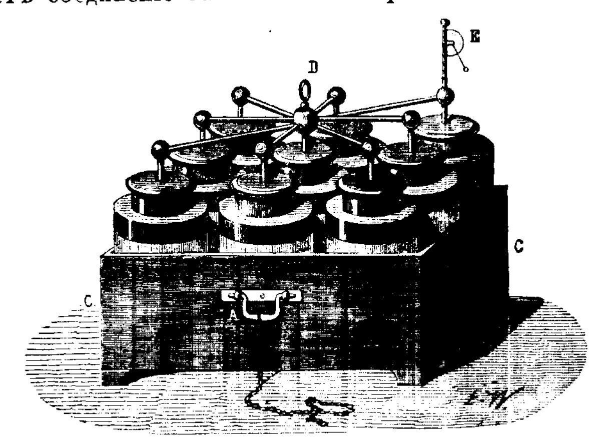
Нынѣ употребляемое устройство, т.-е. форму бан-
ки (фиг. 463) обложенной снаружи и внутри металличе-



Фиг. 463.

скими обкладками, причемъ внутренняя иногда замѣ-
няется металлическими листочками, дробинками и т. п.,

—лейденскій сосудъ получилъ въ Англіи (Бевисъ, Уатстонъ). Наружная обкладка была введена, когда было замѣчено что проводникъ прикасающійся къ банкѣ снаружи (рука наблюдателя въ первыхъ опытахъ) имѣетъ существенное значеніе, и банку стали помѣщать на металлической подставкѣ. Фиг. 464 изображаетъ соединеніе банокъ въ батарею.

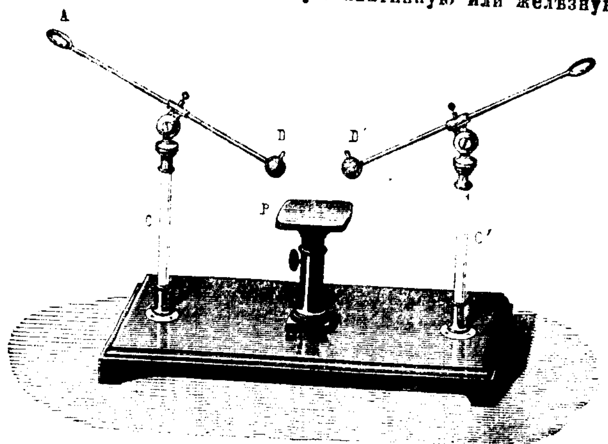


Фиг. 464.

На фиг. 463 видно какъ извлекается искра изъ банки безъ вреда для наблюдателя, помощію металлическаго *разрядника* на изолирующихъ ручкахъ. Внѣшняя обкладка, металлическая дуга разрядника, слой воздуха и внутренняя обкладка образуютъ вмѣстѣ *цѣпь*, въ которой происходитъ *разрядъ* или движеніе электричества, невидимо совершающееся въ металлѣ, въ воздухѣ же сопровождающееся искрою. Когда желаютъ чтобы разрядъ прошелъ чрезъ какое-либо тѣло, то тѣло это вводятъ въ цѣпь помощію, напримѣръ, *всеобщаго разрядника* Генлея, изображеннаго на фиг. 465, состоящаго изъ двухъ вѣтвей, между концами которыхъ (концы эти бываютъ или въ формѣ шариковъ, или въ формѣ остріевъ) помѣщается испытуемое тѣло. Вѣтви разрядника соединяются одна съ внѣшнею обкладкой, другая, въ моментъ опыта, съ внутреннею.

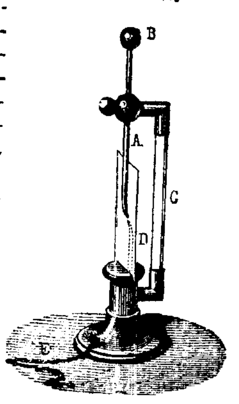
Вообще многообразные опыты съ лейденскою банкой и баттареей можно свести къ слѣдующимъ группамъ: а) *Физіологическія дѣйствія* — нервное сотрясеніе, сопровождающееся при сильномъ разрядѣ даже смертію живаго существа, подвергнутаго

разряду. b) *Термическія дѣйствія*—нагрѣваніе до красно- и бѣлокаленія, расплавленіе тонкой проволоки (опытъ удобно можно произвести, натянувъ тонкую платинную или желѣзную прово-



Фиг. 465.

локу между вѣтьвями *всеобщаго разрядника*; расплавленіе, сожиганіе тѣлъ. c) *Свѣтъ:* искра, какъ показываетъ спектральное изученіе, заключаетъ въ себѣ раскаленныя частицы какъ тѣлъ изъ коихъ извлекается, такъ и среды, въ которой образуется. d) *Механическія дѣйствія* — разбрасываніе частицъ воздуха въ томъ мѣстѣ гдѣ перерывъ цѣпи и образуется искра; пробиваніе твердыхъ дурныхъ проводниковъ, дерева, карты, книги, стекла и проч. Пробиваемое тѣло помѣщается между вѣтвями разрядника, оканчивающимися остріями. Расположеніе опыта съ картою изображено на фиг. 466. При пробиваніи карты замѣчательно что образовавшаяся дирочка представляетъ съ обѣихъ сторонъ возвышенія, отличаясь этимъ отъ дирочки проколотой, напримѣръ, иголкой, представляющей съ одной стороны углубленіе, съ другой — возвышеніе. Если искра извлекается внутри жидкаго тѣла, то разбрасываніе частицъ имѣетъ слѣдствіемъ сильное давленіе на стѣнки сосуда, въ которомъ находится жидкость. Если сосудъ есть трубочка, закрытая съ концевъ пробками, чрезъ которыя проходятъ проволоки, сближенныя такъ, что между ихъ кончиками остается небольшой промежутокъ, гдѣ

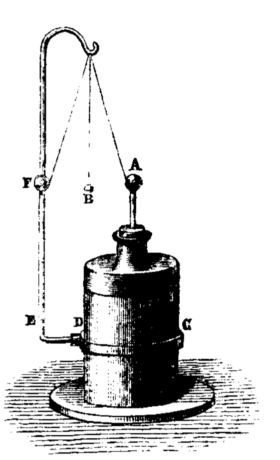


Фиг. 466.

выскакиваетъ искра, то трубка разбивается и разбрасывается (замѣтимъ что искра бываетъ не только въ изолирующихъ жидкостяхъ, какъ масло, жиръ, но и въ проводящихъ, какъ вода, чрезъ которую разрядъ можетъ, впрочемъ, проходить и безъ искры, если проводники не близки между собою. e) *Химическія дѣйствія*: можно, напримѣръ, произвести разложеніе воды. Въ первый разъ оно сдѣлано было этимъ путемъ въ 1789 *) помощію двухъ золотыхъ проволочекъ, введенныхъ въ трубку съ водою такъ что между ними былъ опредѣленный промежутокъ, въ какомъ искры не было, но въ темнотѣ замѣтно было сіяніе на концахъ. f) *Магнитныя дѣйствія*: иголка намагничивается будучи помѣщена перпендикулярно къ металлической проволокѣ, чрезъ которую идетъ разрядъ.

§ 332. Франклинова теорія лейденской банки. Первое объясненіе главныхъ условій дѣйствія лейденской банки было дано Франклиномъ (1747) и находится въ его знаменитыхъ *Письмахъ объ электричествѣ* изъ Филадельфіи. Франклинъ доказалъ что въ заряженной лейденской банкѣ наэлектризована не одна внутренняя обкладка (вода въ первоначальной формѣ опыта), непосредственно получающая электричество отъ машины; внѣшняя также оказывается наэлектризованною и притомъ противоположнымъ съ внутреннею электричествомъ.

„Поставимъ, говоритъ онъ, заряженную банку на смолу, возьмемъ въ руку сухую шелковину съ пробочнымъ шарикомъ на концѣ и приблизимъ къ проводнику банки: шарикъ притянется и тотчасъ оттолкнется (наэлектризуясь тѣмъ электричествомъ какое внутри банки). Но опустимъ руку такъ чтобы шарикъ подошелъ къ низу банки: онъ тотчасъ сильно притянется, отдавая свой огонь (давая маленькую искру).“ Тотъ же опытъ можно привести въ слѣдующей формѣ, указанной также Франклиномъ. Проведя проволоку отъ внѣшней обкладки, въ родѣ того какъ показано на фиг. 467, зарядивъ банку и поставивъ на непроводникѣ, повѣсимъ



Фиг. 467.

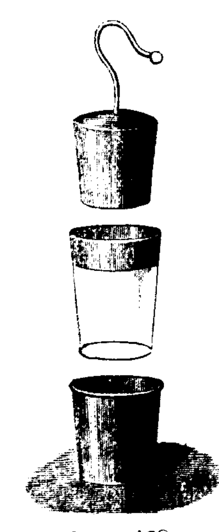
*) Фанъ Троствикъ и Дейманъ въ Голландіи.

между шарикомъ A и проводникомъ соединеннымъ съ внѣшнею
обкладкой пробковый шарикъ на шелковой нити. Шарикъ, на-
электризовавшись у A, отталкивается и переноситъ электриче-
ство къ проводнику его притягивающему; электричество ша-
рика соединяется при F съ равнымъ количествомъ противо-
положнаго электричества; свободный отъ электричества ша-
рикъ вновь электризуется, но уже электричествомъ внѣшней
обкладки; отталкивается, притягиваясь шарикомъ A и т. д., и
качается до разряженія банки такимъ послѣдовательнымъ пе-
реносомъ малыми дозами электричества отъ одной обкладки
къ другой. „Если, говоритъ Франклинъ, человѣкъ, стоящій на
непроводникѣ, коснется проволоки банки (идущей отъ внутрен-
ней обкладки), тогда какъ другой, стоящій на полу, держитъ
банку въ рукахъ, то первый электризуется положительнымъ
электричествомъ, и всякій стоящій на полу можетъ изъ него
получить искру... Но если держащій банку стоитъ на непро-
водникѣ, а другой касается проволоки, то первый электри-
зуется отрицательно“ (свидѣтельствуя что внѣшняя обкладка
заряжена минусъ-электричествомъ). Не трудно наэлектризовать
банку такъ что внутри ея будетъ отрицательное электричество.
Для этого надо къ кондуктору машины поднести банку ея
внѣшнею обкладкой, держа снарядъ за проволоку соединенную
съ внутреннею обкладкой. Если, поставивъ на столѣ двѣ одина-
ково сильно заряженныя банки, изъ коихъ одна съ положи-
тельнымъ электричествомъ внутри, другая же съ отрицатель-
нымъ, повѣсить между ними шарикъ на нити, то шарикъ бу-
детъ качаться какъ во второмъ опытѣ, и банки обѣ постепен-
но разрядятся. Вмѣсто качающагося шарика, Франклинъ у-
строивалъ горизонтально вращающееся колесо изъ стеклянныхъ
спицъ, каждая съ металлическимъ шарикомъ на концѣ. Буду-
чи помѣщено между проводниками отъ двухъ противополож-
ныхъ банокъ, оно приходило во вращеніе, обнаруживая до-
вольно значительную механическую силу. *)

Наконецъ Франклинъ показалъ что „вся сила банки и ея мощь
давать сотрясенія лежитъ въ самомъ стеклѣ“, и что электри-
чества, сообщаемыя и уводимыя помощію обкладокъ пребыва-
ютъ въ толщѣ самаго стекла. Зарядивъ банку (въ первоначаль-
ной формѣ съ водою внутри) и поставивъ ее на стекло, Франк-
линъ вынулъ пробку съ проводникомъ. „Взявъ затѣмъ банку въ
руку, поднесъ палецъ другой руки къ отверстію: изъ воды вы-
шла сильная искра, и сотрясеніе было столь же сильно какъ
при проводникѣ. Чтобъ изслѣдовать не въ водѣ ли сила... бан-
ка вновь была наэлектризована и поставлена на столъ. Вы-
нули пробку съ проводникомъ какъ прежде и, приподнявъ банку

*) Франклинъ назвалъ снарядъ электрическимъ вертеломъ. Въ одномъ изъ писемъ, описывая фантастическій праздникъ затѣянный имъ и его друзьями для заключенія опытовъ, онъ

вылили воду въ пустой сосудъ, стоявшій также на столѣ, ожидая, что если сила пребываетъ въ водѣ, то отъ воды этой получится сотрясеніе. Но его не было и признака... Но наливъ банку свѣжею водой изъ чайника получили отъ нея сильный ударъ.“ Этотъ опытъ Франклина удобно производится помощію банки съ подвижными обкладками, какъ на фиг. 468. Если, сложивъ такую банку, зарядить ее и потомъ разобрать, то обкладки чрезъ прикосновеніе рукъ, очевидно, потеряютъ электричество. Между тѣмъ вновь собравъ банку, получаемъ изъ нея искру.



Фиг. 468.

Желая убѣдиться что такое заряженіе стекла электричествомъ зависитъ не отъ формы банки, Франклинъ взялъ „оконное стекло, положилъ его на руку, а на верхнюю его поверхность наложилъ свинцовый листъ и электризовалъ его. Приблизивъ затѣмъ палецъ къ верхней обкладкѣ, получилъ искру и сотрясеніе“. Обложивъ и нижнюю поверхность свинцовымъ листомъ, онъ получилъ стекло между двумя обкладками (не доходившими до краевъ), замѣнявшее лейденскую банку. Изъ нѣсколькихъ такихъ досокъ составилъ электрическую батарею.

Причину почему при наэлектризованіи одной изъ обкладокъ банки другая сама собою электризуется противоположнымъ электричествомъ увидимъ ниже.

§ 333. Второе замѣчательное открытіе средины прошлаго столѣтія въ области электричества: доказательство тождества молніи и электрической искры. Многіе ученые, еще до Франклина, усматривали аналогію

говоримъ: „мы зажжемъ спиртъ искрою, проведенною съ одной стороны рѣки, чрезъ воду, на другую... калькутскій пѣтухъ будетъ убитъ электрическимъ ударомъ и зажаренъ на электрическомъ вертелѣ; предъ пламенемъ возженнымъ электричествомъ. При этомъ, здоровье знаменитыхъ знатоковъ электричества въ Англіи, Голландіи, Франціи и Германіи будемъ пить изъ электрическихъ бокаловъ (изъ тонкаго стекла, электризуемыхъ какъ лейденская банка, и дающихъ ударъ при поднесеніи ко рту), при громѣ пушекъ, запаленныхъ искрою батарей.“

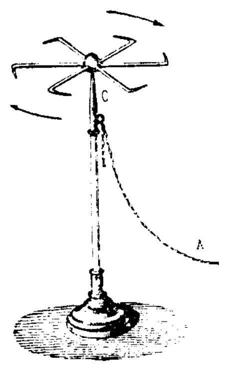
молніи и грома съ электрическою искрой и ея трескомъ*). Франклинъ далъ прямое доказательство тождества этихъ явленій, указавъ средство извлекать электричество изъ облаковъ. Средство это онъ основалъ на замѣчательномъ, открытомъ имъ, дѣйствіи *остріевъ*, какъ по отношенію къ уведенію, такъ и по отношенію къ испусканію электричества. „Укрѣпимъ, говоритъ онъ, свинцовый шаръ трехъ или четырехъ дюймовъ въ діаметрѣ въ отверстіи чистой и сухой бутылки. Надъ нимъ повѣсимъ на длинной тонкой шелковой нити маленькій пробковый шарикъ, такъ чтобъ онъ прилегалъ съ боку къ свинцовому шару. Какъ только шаръ наэлектризованъ, пробковый шарикъ отталкивается и удаляется дюйма, напримѣръ, на четыре или на пять. Тогда приблизимъ на разстояніе шести или восьми дюймовъ отъ свинцоваго шара кончикъ тонкаго и остраго шила. Отталкиваніе тотчасъ прекратится, и шарикъ упадетъ обратно на свинцовый шаръ. Тупое тѣло надо приблизить на дюймъ и извлечь искру, чтобы произвести то же дѣйствіе... Приближая остріе въ темнотѣ, можно на немъ замѣтить сіяніе подобное свѣту Иванова червячка... Чтобы показать что острія такъ же легко испускаютъ электричество какъ отнимаютъ его у другихъ тѣлъ, укрѣпимъ на свинцовомъ шарѣ острую иголку: шаръ никакъ нельзя будетъ наэлектризовать въ такой степени чтобъ онъ оттолкнулъ пробковый шарикъ.“ Въ болѣе значительныхъ размѣрахъ подобные опыты Франклинъ дѣлалъ надъ большимъ цилиндрическимъ кондукторомъ обклеенымъ

---

*) Франклинъ указываетъ слѣдующія свойства „общія электрической жидкости и молніи: давать свѣтъ;.. направляться зигзагами;.. легко проводиться металлами, издавать шумъ или трескъ взрыва;.. разщеплять тѣла, чрезъ которыя проходитъ; убивать животныхъ; плавить металлы; зажигать воспламеняющіяся тѣла; издавать сѣрный запахъ.“

золотою бумагой, въ десять футовъ длиною и футъ въ діаметрѣ, висѣвшимъ на шелковыхъ снурахъ.

Прибавимъ, что свойствами остріевъ въ высокой степени обладаетъ пламя. Разогрѣтый газъ, образующій пламя, дѣйствуетъ какъ проводникъ со многими остріями.



Фиг. 457.

Вслѣдствіе значительнаго скопленія на остріѣ электричества, частицы воздуха окружающія остріе сильно электризуются, и отъ взаимнаго отталкиванія ихъ образуется родъ вѣтра, производящаго любопытныя явленія. Такъ, если поднести къ острію, поставленному на кондукторъ электрической машины, зажженную свѣчу, то пламя наклоняется и даже можетъ быть задуто воздушнымъ потокомъ, идущимъ отъ острія. Подвижное колесо, (Фиг. 469) оканчивающееся остріями, приходитъ во вращеніе въ сторону противоположную той куда направлены острія (опытъ представляющій аналогію съ Сегнеровымъ колесомъ). Прибавимъ что въ темнотѣ истеченіе или точнѣе медленный разрядъ электричества чрезъ остріе сопровождается сіяніемъ въ формѣ кисти свѣта имѣющей не одинаковый видъ въ случаѣ положительнаго и отрицательнаго электричества. Сіяніе обнаруживающееся при значительномъ напряженіи электричества въ атмосферѣ, на концахъ копій, мачтахъ и т. под. (огни Кастора и Поллукса, Св. Эльма) есть явленіе этого рода.

Пользуясь свойствомъ остріевъ, Франклинъ предложилъ слѣдующую систему опытовъ для разрѣшенія вопроса объ электричествѣ облаковъ. „Чтобы (1749) разрѣшить, говоритъ онъ, вопросъ наэлектризованы ли грозовыя облака или нѣтъ, я хочу предложить опытъ, который можно сдѣлать на мѣстахъ гдѣ къ тому представляются удобства. Поставимъ на вершинѣ высокой башни или подмостокъ будку такой величины чтобъ она могла вмѣстить человѣка и электрическую скамейку (т.-е. изолированную). Отъ средины скамейки проведемъ,—выгнувъ его чрезъ отверстіе дверецъ,—вертикально въ высоту желѣзный шестъ футовъ въ двадцать или тридцать длиною съ заостреннымъ

на верхушкѣ концомъ. Если будемъ заботиться чтобы скамейка была чиста и суха, то человѣкъ на ней стоящій наэлектризуется во время низко проходящихъ облаковъ и станетъ давать искры; ибо шестъ приведетъ (электрическій) огонь изъ облаковъ. Если желаемъ предохранить наблюдателя отъ опасности,— въ чемъ, впрочемъ, полагаю, не будетъ надобности,—то сдѣлаемъ такъ чтобъ онъ стоялъ (не на скамейкѣ, а) на полу будки и помощію сургучной ручки приближалъ отъ времени до времени къ шесту проволоку кольцеобразно-загнутымъ концомъ, тогда какъ другой конецъ ея прикрѣпленъ къ проводящимъ тѣламъ. Когда шестъ наэлектризуется, изъ него будутъ выскакивать искры къ проволокѣ, минуя наблюдателя.“ Этотъ опытъ былъ въ первый разъ осуществленъ во Франціи, въ 1752 году, Далибаромъ и Делоромъ. Результатъ вполнѣ оправдалъ предсказаніе Франклина.

Письма объ электричествѣ Франклина имѣли большой успѣхъ во Франціи; многіе изъ описываемыхъ въ нихъ опытовъ были повторены въ присутствіи короля (Людовика XV). По совѣту знаменитаго натуралиста Бюффона, Далибаръ и Делоръ рѣшились осуществить планъ Франклина. Далибаръ дѣлалъ свои наблюденія въ Марли, мѣстечкѣ недалеко отъ Парижа; Делоръ въ своемъ домѣ, стоявшемъ на довольно высокомъ пунктѣ столицы. Снарядъ Далибара состоялъ изъ желѣзнаго прута длиною въ 40 футовъ, нижній конецъ котораго помѣщался въ маленькой будкѣ, куда не проникалъ дождь, между тѣмъ какъ самый прутъ длинными шелковыми снурками, скрытыми отъ дождя, прикрѣплялся къ тремъ деревяннымъ столбамъ. Заботу о снарядѣ Далибаръ, въ свое отсутствіе, поручилъ одному столяру, на котораго могъ положиться и который первый получилъ искру изъ шеста, 10 мая 1752 года, во время небольшой грозы.

Еще прежде чѣмъ извѣстіе о французскихъ опытахъ достигло Филадельфіи, Франклинъ успѣлъ извлечь электричество изъ грозоваго облака помощію иннаго пріема, который онъ описываетъ слѣдующимъ образомъ. „Сдѣлайте крестъ изъ двухъ легкихъ деревянныхъ полосъ, котораго вѣтви такой длины что достигаютъ четырехъ концовъ большаго, но тонкаго шел-

коваго платка, если его растянуть. Концы платка прикрѣпите къ концамъ креста: получится тѣло змѣя. Если снабдить его хвостомъ, путами и веревкою, то онъ будетъ подыматься въ воздухѣ какъ обыкновенный змѣй изъ бумаги. Но какъ онъ изъ шелка, то лучше бумажнаго можетъ выдержать вѣтеръ и сырость, не разрываясь. На концѣ вверхъ глядящей вѣтви креста должно укрѣпить остріе изъ проволоки, выходящее изъ дерева на футъ и болѣе. Къ концу веревки ближайшемъ къ рукѣ привяжите шелковую тесьму. Въ томъ мѣстѣ гдѣ веревка соединяется съ шелковою тесьмой можно вставить ключъ. Змѣй пускаютъ, видя приближающуюся грозу. Наблюдатель держащій веревку долженъ стоять въ дверяхъ, или у окна, вообще подъ навѣсомъ, чтобы тесьма не намокла. При этомъ должно озаботиться чтобы веревка не касалась дверей или рамы. Когда грозовое облако проходитъ надъ змѣемъ, остріе притягиваетъ изъ него электрическій огонь, и змѣй съ его веревкой электризуется. Свободно висящія волокна веревки подымаются, и если приблизить палецъ, притягиваются къ нему. Когда дождь смочитъ змѣй и веревку, такъ что она легче станетъ проводить электричество, то окажется что, при приближеніи сустава пальца къ ключу, изъ ключа будутъ выскакивать искры *). Этимъ ключомъ можно заряжать банки, и привлеченнымъ этимъ способомъ электричествомъ можно зажечь спиртъ и произвести всѣ прочіе электрическіе опыты, какіе обыкновенно дѣлаются помощію натираемыхъ стеклянныхъ шаровъ и трубокъ. Такимъ образомъ сходство электрической матеріи и матеріи молніи вполнѣ доказано.“

*) Таковы именно были обстоятельства сопровождавшія первый опытъ Франклина, какъ видно изъ разказа Пристлея въ его *Исторіи электричества*, составленнаго, надо полагать, со словъ самого Франклина.

Опыты со змѣемъ въ весьма большихъ размѣрахъ были произведены во Франціи въ 1753 году, де-Рома въ Неракѣ (мысль о змѣѣ де-Рома возымѣлъ независимо отъ Франклина). Пущенный змѣй имѣлъ болѣе 7 футовъ въ высоту, 3 фута ширины въ наибольшемъ діаметрѣ: площадь его была 18 квадр. футовъ. Веревка была обвита тонкою мѣдною проволокою, подобно тому какъ обвиваются струны, но не такъ часто. Къ нижнему концу ея былъ привязанъ тонкій шелковой спуръ; къ веревкѣ, около того мѣста гдѣ она соединялась со снуромъ, была привѣшена жестяная трубка около фута длиною, въ дюймъ въ діаметрѣ, съ цѣлью извлекать изъ нея, когда змѣй и веревка наэлектризуются, искры помощію металлическаго разрядника на стеклянной ручкѣ, отъ котораго шла цѣпочка къ землѣ. 7 іюля 1753 года, въ день обильный грозовыми облаками, змѣй поднялся на высоту болѣе 500 футовъ. До двухсотъ жителей присутствовали при опытахъ. Многіе извлекали искры изъ жестяной трубки, „одни приближая пальцы, другіе ключами, многіе шпагами, иные палками и тростями". Получивъ довольно значительный ударъ, де-Рома прибѣгъ къ разряднику. Извлекались полосы свѣта, болѣе трехъ дюймовъ длиною, трескъ которыхъ былъ слышанъ за 200 шаговъ. Рома на разстояніи трехъ футовъ чувствовалъ на лицѣ какъ бы прикосновеніе паутины. Особенно замѣчательно было слѣдующее явленіе. „Жестяная трубка была отъ земли на разстояніи трехъ футовъ. Три соломенки, наибольшая около фута длиною, другая 4 или 5 дюймовъ и третья 3 или 4 дюйма поднялись стоймя и, касаясь земли концами, скакали вокругъ трубки какъ танцующія маріонетки, не прикасаяся одна къ другой.... Длиннѣйшая была притянута; произошелъ разрядъ изъ трехъ ударовъ, конечно не столь сильныхъ какъ падающій громъ, но напоминавшихъ его своею стремительностію. Одни сравнивали ихъ съ ударомъ курьерскаго бича, другіе съ петардою фейерверка, другіе съ разбитою о землю кружкою. Искры имѣли форму полосъ до 8 дюймовъ длиною, при 4 или 5 линіяхъ въ діаметрѣ." Соломенка понеслась вдоль веревки: многіе прослѣдили ее на протяженіи туазовъ 45 или 50. Она то притягивалась, то отталкивалась; движеніе сопровождалось почти непрерывнымъ трескомъ.

Прибавимъ что любопытные опыты со змѣемъ были произведены также въ Голландіи, знатнымъ русскимъ любителемъ физики княземъ Дм. Голицынымъ.

Опыты съ шестомъ, въ свою очередь, были повторяемы во многихъ мѣстахъ. Одно изъ первыхъ повтореній было сдѣлано въ Петербургѣ Рихманомъ и Ломоносовымъ (въ концѣ лѣта 1752 года и лѣтомъ 1753). Рихманъ поплатился жизнію за свою любознательность. Онъ былъ убитъ 26 іюля 1753, искрой вылетѣвшею изъ шеста, въ то время какъ онъ производилъ наблюденія *).

*) Подробности о наблюденіяхъ Рихмана и Ломоносова и о смерти Рихмана смотри въ сочиненіи *Жизнь и труды Ломоносова* Н. Любимова. (Москва, 1872).

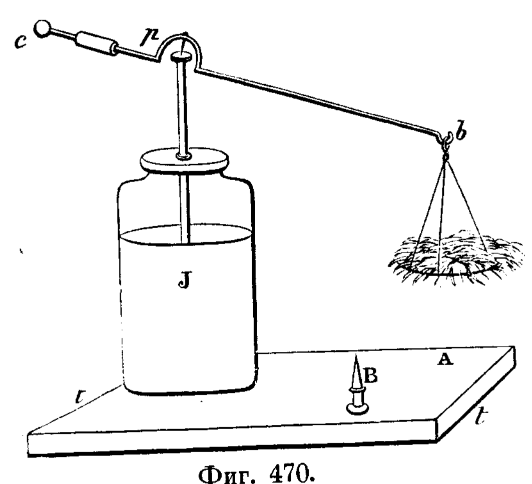
§ 334. **Изобрѣтеніе громоотводовъ.** „Нельзя ли извлечь нѣкоторую пользу для человѣческаго рода изъ знанія силы остріевъ?" спрашивалъ себя Франклинъ, открывъ способность остріевъ незамѣтно извлекать электричество изъ наэлектризованныхъ тѣлъ. Если облако есть наэлектризованное тѣло, то нельзя ли ослабить и отнять его грозовую силу помощію остріевъ, помѣщенныхъ приличнымъ образомъ, которыя дѣйствуя путемъ тихаго разряда, предохраняли бы земные предметы отъ стремительнаго разряда въ формѣ молніи? Отсюда идея о *громоотводахъ*. Франклинъ подвергъ свою мысль испытанію помощію опыта, представлявшаго въ маломъ видѣ дѣйствіе громоотвода. Онъ повѣсилъ на веревкѣ, прикрѣпленной къ потолку, коромысло вѣсовъ длиною въ два и болѣе футовъ, съ большими металлическими чашками, привѣшенными на шелковыхъ снуркахъ. Чашки отстояли приблизительно на футъ отъ пола. Крученіемъ веревки не трудно было дать коромыслу съ чашками вращательное движеніе. Желѣзный молотокъ вбивался въ полъ, такъ что чашки въ своемъ движеніи проходили надъ нимъ. „Одну изъ чашекъ электризовали помощію проводника лейденской банки. Когда коромысло было приведено въ движеніе, то можно было видѣть, что наэлектризованная чашка, во все время притягиваемая къ полу, опускается еще ниже, проходя надъ молоткомъ; а если онъ находится достаточно близко, то даетъ искры отдавая ему свой (электрическій) огонь. Но если укрѣпить на концѣ молотка иголку, такъ чтобъ она стояла вертикально, то чашка, вмѣсто того чтобы притягиваться молоткомъ и давать искру, незамѣтно отдаетъ свое электричество острію и надъ молоткомъ подымается выше. Даже если иголку вбить въ полъ около молотка, но такъ чтобъ ея остріе вертикально подымалось вверхъ, то конецъ молотка, хотя онъ много выше иголки, все-таки не будетъ притягивать

чашку и получать ея электричество: электричествомъ этимъ овладѣваетъ иголка и уводитъ его прежде чѣмъ чашка подойдетъ къ молотку настолько близко чтобы между ними обнаружилось взаимнодѣйствіе. Если, теперь, молнія и электрическій огонь одно и то же,... то чашка можетъ представлять собою грозовое облако,.. горизонтальное движеніе чашки соотвѣтствуетъ движенію облака надъ землею, молотокъ есть какъ бы гора или высокое зданіе... Если все это такъ, то нельзя ли воспользоваться знаніемъ силы остріевъ дабы защитить дома, церкви, корабли отъ ударовъ молніи? Надо начать съ того чтобы на наиболѣе высокихъ частяхъ зданія поставить вертикально желѣзные шесты. Концы ихъ должны быть заострены какъ иглы и, для предохраненія отъ ржавчины, вызолочены. Отъ нижняго конца шеста должно по зданію, внѣ его, провести проволоку въ землю; на корабляхъ проволока должна проходить внизъ по мачтѣ и оттуда въ воду. Эти заостреные шесты, по всему вѣроятію, будутъ незамѣтно уводить электричество изъ облака и уведутъ его прежде чѣмъ оно подойдетъ настолько чтобы дать ударъ, и такимъ образомъ обезопасятъ насъ отъ такого внезапнаго несчастія.“

Фиг. 470 изображаетъ опытъ подобный опыту Франклина съ чашкою вѣсовъ, только расположенный нѣсколько иначе. Чашка висящая на коромыслѣ и несущая комъ хлопка представляетъ подобіе облака.

Устраиваемые, согласно мысли Франклина, громоотводы мало по малу вошли въ общее употребленіе хотя и не безъ противодѣйствія со стороны нѣкоторыхъ ученыхъ (въ Европѣ), полагавшихъ что выставленные на зданіяхъ шесты, притягивая электричество, должны привлечь опасность. Опыты многихъ лѣтъ показали, напротивъ, что громоотводы удовлетворяютъ назначенію и особенно оказались полезными на высокихъ зданіяхъ и морскихъ судахъ. Случаи

удара молніи въ громоотводы обыкновенно не сопровождались вредомъ для защищаемыхъ предметовъ. Существенное условіе для дѣйствія громоотвода

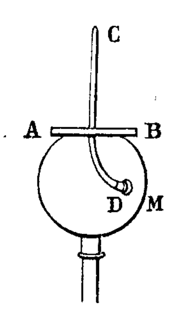


Фиг. 470.

то чтобъ онъ былъ соединенъ хорошимъ проводникомъ съ землею и притомъ съ ея сравнительно хорошо проводящими частями, напримѣръ съ водою подземныхъ ключей въ колодцахъ, съ водою рѣкъ и т. под. Потому особенное вниманіе должно быть обращено на то чтобы желѣзныя свинченныя полосы, идущія отъ мѣста громоотвода къ землѣ, нигдѣ не представляли перерыва и чтобы всѣ проводящія части зданія были по возможности соединены съ громоотводомъ и слѣдовательно все зданіе представляло какъ бы широкій каналъ для истеченія электричества въ землю. Чтобы дѣйствіе громоотвода, въ качествѣ острія, было сильнѣе, Франклинъ рекомендовалъ конецъ шеста дѣлать иглообразно. Нынѣ допускаютъ шесты заостренные лишь на самой оконечности, считая ихъ по отношенію къ облаку, вообще значительно отстоящему отъ громоотвода, равносильными съ оканчивающимися иглою.

§ 335. Электричество облаковъ и собственно атмосферное электричество. Грозовое облако представляетъ собою отдѣльный наэлектризованный проводникъ находящійся въ воздухѣ. Но и независимо отъ присутствія облаковъ, въ воздухѣ обнаруживаются признаки наэлектризованнаго состоянія. Чтобъ обнаружить это собственно *атмосферное электричество*, происхожденіе котораго не довольно еще разъяснено, но въ которомъ можно полагать главный источникъ всѣхъ электрическихъ явленій въ атмосферѣ,—достаточно снабдить электроскопъ небольшимъ заостреннымъ шестомъ и поднять на нѣсколько футовъ снизу вверхъ. Электроскопъ обнаружитъ признаки электричества, какъ еслибы мы приблизились къ наэлектризованному тѣлу. Изученіе явленій атмосфернаго электричества, привело къ слѣдующему, весьма вѣроятному представленію. Верхніе рѣдкіе слои воздуха, вслѣдствіе разрѣженности своей не представляющіе сопротивленія передвиженію электричества, играютъ роль проводника и суть какъ бы внѣшняя проводящая обкладка, облекающая землю и наэлектризованная положительнымъ электричествомъ. Сама земля есть тѣло наэлектризованное отрицательно; нижніе слои воздуха, какъ изоляторъ, раздѣляютъ двѣ эти наэлектризованныя обкладки, подобно стеклу въ лейденской банкѣ. Когда водяной паръ, распространенный на болѣе или менѣе значительномъ протяженіи въ атмосферѣ, скучивается, образуя облако, то облако это можетъ представить собою наэлектризованный проводникъ, способный, какъ проводникъ вообще, заразъ отдать свое электричество стремительнымъ разрядомъ. Въ полярныхъ странахъ соединеніе электричества атмосферы съ электричествомъ земли порождаетъ явленія именуемыя *полярными сіяніями* (*сѣвернымъ* въ нашемъ полушаріи).

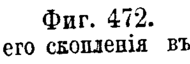
§ 336. Распредѣленіе электричества на поверхности проводниковъ. Возьмемъ (фиг. 471) пустой внутри металлическій шаръ и помѣстимъ его на хорошо изолирующей подставкѣ, накрывъ верхнее отверстіе металлическимъ дискомъ AB на стеклянной рукояткѣ C имѣющей внизу тонкій загнутый стержень изъ непроводника (напримѣръ изъ шеллака), оканчивающійся металлическимъ шарикомъ D. Наэлектризуемъ такой шаръ, представляющій собою замкнутый металлическій проводникъ. Не трудно доказать что въ наэлектризованномъ



Фиг. 471.

состояніи находится только внѣшняя его поверхность тогда какъ внутренняя не обнаруживаетъ признаковъ электричества. Для этого достаточно, подвинувъ дискъ немного въ сторону, коснуться шарикомъ D внутренней стѣнки сферы и потомъ, осторожно поднимая дискъ, унести этотъ шарикъ изъ внутренности шара, не касаясь краевъ отверстія. Шарикъ поднесенный къ электроскопу не обнаружитъ признака электричества (электричество унесенное самимъ дискомъ должно удалить, коснувшись его пальцемъ во время переноса). Но если затѣмъ прикоснуться шарикомъ ко внѣшней поверхности шара, то шарикъ наэлектризуется и окажетъ дѣйствіе на электроскопъ.

Фарадей „сдѣлалъ изъ легкой деревянной рамки кубъ, коего каждая сторона была въ 12 футовъ, обложилъ его вдоль и поперекъ мѣдною проволокой, такъ что стороны его представляли собою какъ бы большія сѣтки; затѣмъ оклеилъ бумагой и обложилъ фольговыми полосками такъ что все было въ металлическомъ сообщеніи, и кубъ представлялъ собою одинъ проводникъ. Такую комнату поставилъ изолированно въ аудиторіи Королевскаго Института... Вошелъ внутрь (сильно наэлектризовавъ кубъ и остался тамъ съ зазженными свѣчами, электрометрами и другими снарядами для обнаруженія электричества, но не замѣтилъ ни малѣйшаго на нихъ дѣйствія. Они не дали никакого показанія, хотя во все время внѣшняя сторона куба была сильно наэлектризована и давала искры и кисти свѣта." Въ описанныхъ опытахъ проводникъ представлялъ собою со всѣхъ сторонъ замкнутую полость. Но и въ открытомъ, напримѣръ, сосудообразномъ проводникѣ состояніе наэлектризованія замѣчается лишь на внѣшней поверхности, не обнаруживаясь при стѣнкахъ углубленной полости. Такъ опытъ съ шаромъ можно сдѣлать (фиг. 472) помощію изолирующей рукоятки, съ шарикомъ или кружечкомъ, не снабженной дискомъ, прикрывающимъ отверстіе какъ въ опытѣ изображенномъ на фиг. 472. (Такой кружокъ на рукояткѣ именуется *испытательнымъ кружкомъ*. Когда онъ касается поверхности тѣла, то какъ бы составляетъ часть этой поверхности, а отдѣленный отъ нея, уноситъ расположившееся на немъ электричество. Количество этого электричества свидѣтельствуетъ о степени его скопленія въ

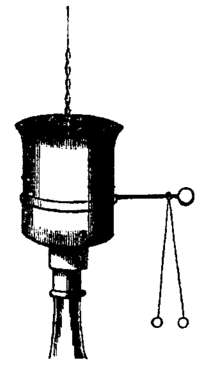


Фиг. 472.

томъ мѣстѣ гдѣ касался кружокъ). Кулонбъ бралъ деревянный цилиндръ дюймовъ четырехъ въ діаметрѣ и дѣлалъ на немъ нѣсколько ямочекъ, около четырехъ линій въ діаметрѣ. Цилиндръ былъ изолированъ и наэлектризованъ. Кулонбъ касался его въ разныхъ точкахъ маленькимъ кружкомъ (въ 1½ линіи въ діаметрѣ) изъ золотой бумаги, укрѣпленнымъ на стержнѣ изъ шеллака. Кружокъ обнаруживалъ электричество, когда касался внѣшней поверхности, но не давалъ признака электричества когда касался дна углубленій. Кулонбъ бралъ также металлическій шаръ, облекалъ его оболочкой изъ двухъ металлическихъ полушарій на изолирующихъ ручкахъ. Когда снарядъ былъ наэлектризованъ и, затѣмъ полушарія быстро сняты, они уносили электричество, и внутренній шаръ оказывался не наэлектризованнымъ.

Проводниками съ большими поверхностями пользовались нѣкоторые испытатели для того чтобы получать сильное электрическое дѣйствіе. Такъ, еще до изобрѣтенія лейденской банки, отецъ Гордонъ (профессоръ въ Эрфуртѣ, въ сороковыхъ годахъ прошлаго вѣка) помощію разряда наэлектризованнаго кондуктора изъ сотни метровъ желѣзной проволоки убивалъ птицъ. Вольта устроилъ на томъ же принципѣ проводникъ дававшій сотрясеніе какъ лейденская банка (1779). „Доказано, говоритъ онъ, и принято всѣми физиками что электрическая емкость (количество электричества принимаго отъ даннаго источника) проводниковъ опредѣляется не массою ихъ, а объемомъ или поверхностію. Любопытный опытъ доктора Франклина *) и

*) Франклинъ замѣтилъ что шарики электроскопа (фиг. 473), соединеннаго съ наэлектризованнымъ металлическимъ сосудомъ, теряютъ постепенно расходимость, по мѣрѣ того какъ помощію шелковинки поднималась и развивалась цѣпь сложенная на днѣ сосуда. Когда цѣпь значительною частію находится внѣ сосуда, электричество распредѣляется отчасти на сосудѣ, отчасти на цѣпи. Когда цѣпь вновь опускается на дно, электричество съ нея устремляется на поверхность сосуда и расходимость шариковъ электроскопа увеличивается. Опытъ съ „электрическою бадьей“, то-есть цилиндрикомъ изъ золоченой бумаги на шелковой нити, опускаемымъ въ изолированный наэлектризованный сосудъ (колодезь), Вольта описываетъ такъ: „Касаясь бадьей внѣшей поверхности колодезя, извлекаемъ искру... но если опустить наэлектризовавшуюся такимъ образомъ бадью до дна колодца, то она утрачиваетъ свое электричество: вытянувъ ее, не найдемъ на ней малѣйшаго признака электричества.“



Фиг. 473.

опыты съ „электрическимъ колодцемъ“... ясно показываютъ что электричество располагается на внѣшней поверхности проводниковъ. Потому съ цѣлью соединить емкость съ удобствомъ, мы даемъ кондукторамъ нашихъ снарядовъ форму цилиндровъ или пустыхъ мѣдныхъ сферъ, такъ какъ не было бы выгоды дѣлать ихъ массивными; употребляемъ также широкія трубки изъ жести и даже картона, покрытаго тонкими металлическими листами или золоченою бумагой. Вообще стараемся имѣть кондукторы большаго объема или поверхности, какой угодно формы, только чтобы не было остріевъ или угловъ... Но никто, сколько знаю, не замѣтилъ что изъ двухъ кондукторовъ равной поверхности, тотъ который длиннѣе имѣетъ большую емкость чѣмъ тотъ который толще...“ Руководствуясь этими началами, Вольта бралъ двѣнадцать деревянныхъ палокъ 8 футовъ длиною и 6 линій въ діаметрѣ, посеребреныхъ съ поверхности; вѣшалъ ихъ однѣ надъ другими на шелковыхъ снуркахъ, перекинувъ съ одной на другую проволочные проводники, такъ что вся система представляла какъ бы одинъ проводникъ въ 96 футовъ длиною. Такой проводникъ, будучи наэлектризованъ, давалъ при приближеніи пальца искру, сопровождавшуюся значительнымъ сотрясеніемъ „похожимъ на то какое испытываемъ, если коснуться шарика заряженной лейденской банки, поставленной на полу не совершенно сухомъ. Но это еще далеко отъ сильнаго сотрясенія, испытываемаго когда коснемся одною рукой шарика банки, а другою ея внѣшней обкладки.“ Но „хотите ли спрашиваетъ Вольта, отъ моего кондуктора получить ударъ той же силы? Коснитесь его одною рукой, между тѣмъ какъ другою коснетесь желѣзной проволоки, отведенной въ колодезь или сырую землю, или, наконецъ, сильно смочите полъ комнаты.“

§ 337. Теорія электрическихъ жидкостей. Распредѣленіе электричества на поверхности проводника есть прямое теоретическое слѣдствіе гипотезы электрическихъ жидкостей, которая и нынѣ полагается въ основаніе объясненія электрическихъ явленій, хотя физическое существованіе электрическихъ жидкостей признается сомнительнымъ. Укажемъ главныя черты этой теоріи словами знаменитаго французскаго математика Пуассона, давшаго (1811) на основаніи ея математическое разрѣшеніе вопроса о распредѣленіи электричества на проводникахъ и повѣрившаго свои выводы сравненіемъ съ опытами Кулонба. „Общепринятая теорія электричества приписываетъ явленія двумъ различнымъ жидкостямъ, распространеннымъ во всѣхъ тѣлахъ природы. Предполагается что частицы той же жидкости взаимно отталкиваются и притягиваютъ частицы другой; эти силы притяженія и отталкиванія дѣйствуютъ въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстояній; при томъ же разстояніи притягательная сила равна отталкивательной, откуда слѣдуетъ что, когда всѣ части тѣла заключаютъ равное количество той и другой жидкости,

жидкости эти не оказываютъ никакого дѣйствія на жидкости содержащіяся въ окружающихъ тѣлахъ, и слѣдовательно не обнаруживается никакого признака электричества. Это ровное и однообразное распредѣленіе двухъ жидкостей есть то что называется ихъ естественнымъ состояніемъ; какъ скоро состояніе это нарушено какою-либо причиною, тѣло въ коемъ это случается *наэлектризовано*, и начинаютъ обнаруживаться различныя явленія электричества. Тѣла природы оказываются не одинаковыми по отношенію къ электрической жидкости: одни, какъ металлы, позволяютъ ей свободно двигаться внутри ихъ и проходить во всѣхъ направленіяхъ; ихъ называютъ потому проводниками *). Другія, какъ напримѣръ, сухой воздухъ, противополагаютъ препятствіе движенію электричествъ внутри ихъ, такъ что они служатъ къ тому чтобы не дать жидкости, собранной въ проводникахъ, разсѣяться въ пространствѣ...

„Представимъ себѣ металлическое тѣло, какой-нибудь формы, окруженное со всѣхъ сторонъ сухимъ воздухомъ, и допустимъ что мы ввели въ него данное количество одной изъ жидкостей. Вслѣдствіе отталкивательной силы ея частицъ и такъ какъ металлъ не представляетъ никакого препятствія ея движенію, легко понять что введенная жидкость перенесется на поверхность тѣла, гдѣ будетъ удержана окружающимъ воздухомъ... Вся жидкость расположится при поверхности и образуетъ слой чрезвычайно тонкій, проникающій нѣсколько ниже этой поверхности и котораго толщина въ каждой точкѣ зависитъ отъ формы тѣла. Этотъ слой извнѣ ограниченъ самою поверхностію тѣла, внутри другою поверхностію очень мало отличною отъ первой. Онъ долженъ принять фигуру соотвѣтствующую равновѣсію отталкивательныхъ силъ частицъ его составляющихъ... Кромѣ того онъ не долженъ оказывать ни притяженія ни отталкиванія на какую-либо точку произвольно взятую внутри тѣла, ибо если это условіе не будетъ выполнено, дѣйствіе электрическаго слоя на внутреннія точки разложитъ новое количество естественнаго электричества тѣла, и его электрическое состояніе измѣнится... Давленіе которое жидкость оказываетъ на воздухъ ея удерживающій прямо пропорціонально отталкивательной силѣ и толщинѣ слоя; а такъ какъ одинъ изъ этихъ элементовъ пропорціоналенъ другому, то отсюда слѣдуетъ что давленіе измѣняется на поверхности наэлектризованнаго тѣла пропорціонально квадрату толщины или количества электричества собраннаго въ каждой точкѣ этой поверхности. Воздухъ непроницаемый для электричества можно разсматривать

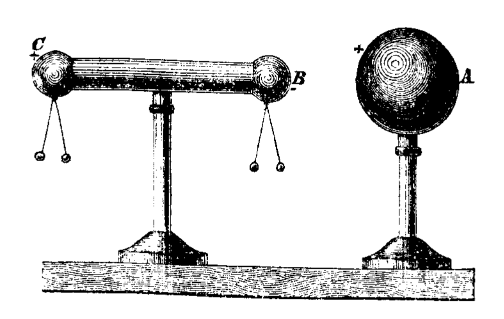
*) Въ строгомъ смыслѣ и проводники представляютъ большее или меньшее *сопротивленіе* движенію электричества, но сопротивленіе это несравненно менѣе чѣмъ сопротивленіе дурно проводящихъ тѣлъ.

какъ сосудъ, котораго форма опредѣляется формою наэлектризованнаго тѣла; жидкость содержащаяся въ этомъ сосудѣ оказываетъ на его стѣнки давленія, различныя въ разныхъ точкахъ, такъ что давленіе въ нѣкоторыхъ точкахъ иногда бываетъ очень велико сравнительно съ испытываемымъ другими. Въ мѣстахъ гдѣ давленіе жидкости превозмогаетъ сопротивленіе противополагаемое воздухомъ—воздухъ уступаетъ; сосудъ такъ-сказать прорывается, и жидкость истекаетъ какъ изъ отверстія. Такъ бываетъ на остріяхъ и острыхъ краяхъ угловатыхъ тѣлъ, ибо можно доказать что при вершинѣ конуса, напримѣръ, давленіе электрической жидкости сдѣлалось бы безконечнымъ, еслибъ электричество могло тамъ скопиться. На поверхности удлиненнаго эллипсоида, давленіе не равно безконечности ни въ какой точкѣ, но оно будетъ тѣмъ значительнѣе при двухъ его полюсахъ, чѣмъ болѣе будетъ соединяющая ихъ ось по отношенію къ діаметру экватора... Вообще неопредѣленное возрастаніе электрическаго давленія въ нѣкоторыхъ точкахъ наэлекризованныхъ тѣлъ представляетъ естественное и точное объясненіе способности остріевъ разсѣвать въ непроводящій воздухъ электрическую жидкость, какой они заряжены".

Замѣтимъ, что взаимное отталкиваніе частицъ электрической жидкости не должно уподоблять взаимному отталкиванію частицъ какой-нибудь упругой среды, напримѣръ, воздуха. Газъ равномѣрно распространяется въ пространствѣ которое наполняетъ, не скопляясь при ограничивающихъ его стѣнкахъ. Между частицами газа взаимное отталкиваніе происходитъ лишь на разстояніяхъ чрезвычайно близкихъ, слѣдовательно лишь между сосѣдними частицами, отталкиваніе же частицъ электричества обнаруживается и между отдаленными частицами.

Если принимать что электрическая жидкость удерживается на поверхности проводника сопротивленіемъ окружающаго воздуха, то можно думать что въ безвоздушномъ пространствѣ она должна разсѣеваться. Дѣйствительно, электричество легко распространяется въ разрѣженныхъ газахъ, причемъ если напряженіе электричества достаточно сильно, разрядъ сопровождается явленіемъ свѣта. Но съ другой стороны, есть опыты доказывающіе что слабыя электрическія напряженія сохраняются въ разрѣженномъ газѣ болѣе значительное время чѣмъ въ газѣ обыкновенной плотности (явленія находящіяся, повидимому, въ связи съ существованіемъ на поверхности тѣла тонкаго слоя прилипшаго и сгущеннаго газа). Наконецъ есть опыты свидѣтельствующіе что если газъ доведенъ до состоянія крайней разрѣженности какая достижима въ нашихъ опытахъ, то онъ представляетъ вновь значительное сопротивленіе распространенію электричества, откуда должно заключить что абсолютная пустота есть непроводникъ электричества.

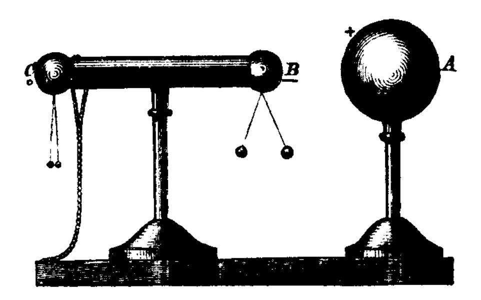
§ 338. **Наэлектризованіе чрезъ вліяніе.** Наэлектризованіе чрезъ вліяніе есть основное начало въ разсматриваемой нами области явленій, большинство которыхъ въ немъ находятъ свое объясненіе. Наэлектризованіе чрезъ вліяніе состоитъ въ томъ что изолированный проводникъ, приближенный къ наэлектризованному тѣлу самъ электризуется и притомъ полярно, т.-е. на концѣ ближайшемъ къ наэлектризованному тѣлу электричествомъ противоположнымъ съ электричествомъ этого тѣла, и электричествомъ одноименнымъ на удаленномъ концѣ. Такимъ образомъ если къ наэктризованному положительно шару *A* (фиг. 474) приблизить изолированный проводникъ *CB*, съ висящими на немъ бузинными шариками на льняныхъ нитяхъ, то шарики разойдутся, наэлектризовавшись—находящіеся при концѣ *B* отрицательнымъ, при концѣ *C* одноименнымъ съ *A*, положитель-



Фиг. 474.

нымъ электричествомъ. (Въ этомъ можно убѣдиться, поднося къ шарикамъ тѣло наэлектризованное извѣстнымъ электричествомъ и наблюдая какіе изъ нихъ притягиваются и какіе отталкиваются). Если

Если удалить шаръ *A*, то разложенныя электричества соединяются, и кондукторъ возвращается въ естественное состояніе *). Если положить на кондукторъ цѣпь, какъ на фиг. 475, или прикоснуться пальцемъ, вообще какимъ-либо способомъ привести его въ сообщеніе съ землею, то отталкиваемое одноименное электричество уйдетъ въ землю; шарики при концѣ *C* сблизятся, тогда какъ расходимость находящихся при *B* увеличится. При этомъ въ какомъ бы мѣстѣ кондуктора *CB* мы ни производили сообщеніе съ землею, даже если при концѣ *B*,



Фиг. 475.

во всякомъ случаѣ въ землю уйдетъ отталкиваемое одноименное электричество, разноименное же, удерживаемое притяженіемъ электричества тѣла *A*, остается при концѣ *B*, несмотря на сообщеніе кондуктора съ землею. Это выражаютъ, говоря что электричество при концѣ *B* находится въ *связанномъ* состояніи. Проводникъ и землю въ этомъ случаѣ можно разсматривать какъ одну проводящую массу; оттолкнутое электричество, располагаясь на этомъ огромномъ проводникѣ, становится не замѣтно.

Если, приведя кондукторъ въ сообщеніе съ землею и чрезъ то уведя оттолкнутое эелектричество, прервать

*) Предполагаемъ кондукторъ хорошо изолированымъ такъ что отталкиваемое электричество не теряется. Прибавимъ что берлинскій профессоръ Рисъ въ своемъ снарядѣ, назначен-

затѣмъ это сообщеніе и одновременно удалить кондукторъ отъ шара A или шаръ отъ кондуктора (или увести съ шара его электричество), то собранное при концѣ B разноименное электричество распространится по всему кондуктору; шарики при C вновь разойдутся, расходимость же находящихся при B нѣсколько уменьшится. Поднося къ шарикамъ тѣло наэлектризованное извѣстнымъ электричествомъ, убѣдимся что весь кондукторъ заряженъ одинакимъ электричествомъ, —отрицательнымъ въ нашемъ примѣрѣ. Такимъ образомъ чтобы наэлектризовать проводникъ чрезъ вліяніе, его должно поднести къ наэлектризованному тѣлу, коснуться пальцемъ или иначе какъ-либо привести въ сообщеніе съ землею, и удалить, прерывая это сообщеніе. Проводникъ наэлектризуется электричествомъ противоположнымъ съ электричествомъ тѣла.

Метода наблюденія электрическихъ явленій помощію бузинныхъ шариковъ на нитяхъ, введенная Кантономъ, дала этому ученому возможность произвести рядъ разнообразныхъ опытовъ (1753), объясняющихся изъ началъ электрическаго вліянія, самимъ Кантономъ, впрочемъ, не указаннаго. Первый и простѣйшій изъ его опытовъ состоялъ въ томъ что, повѣсивъ пару пробочныхъ или бузинныхъ шариковъ на льняныхъ (проводящихъ) нитяхъ, онъ подносилъ къ нимъ натертую стеклянную трубку. Шарики тотчасъ расходились между собою и опять сближались когда трубка была удалена *): опытъ свидѣтельствующій что шарики временно электризуются отъ вліянія приближенной трубки. Шведскій ученый Вильке (1757) показалъ что электричество временно возбуждаемое такимъ образомъ всегда *противоположно* тому которое производитъ дѣйствіе и выразилъ общее основное начало, сводящее явленія „къ такимъ простымъ правиламъ и такой гармоніи, къ какимъ ученые давно стремились.“ Общее начало это выражено Вильке слѣдующимъ образомъ: „части тѣла погруженнаго въ атмосферу *) *положительно* наэлектризованнаго тѣла электризуются *отрицательно*. Онѣ электризуются *положительно* въ отрицательной атмосферѣ.“ Разсматривая явленія съ точки зрѣнія Франклиновой теоріи одной жидкости, Вильке объяснялъ первое состояніе тѣмъ что „положительная атмосфера гонитъ естественное электричество изъ частей (приближеннаго проводника). Онѣ становятся отрицательно наэлектризованными если (электрическая) матерія можетъ утекать, но не можетъ устремиться обратно. Положительное состояніе въ отрицательной атмосферѣ происходитъ когда электричество собирается въ этихъ частяхъ, стремясь перейти къ отрицательному, а затѣмъ чрезъ пресѣченіе канала назадъ вернуться не можетъ.“ Вильке указываетъ опытъ выведенный имъ „a priori изъ этихъ наблюденій съ цѣлью повѣрить ихъ справедливость.“ „Возьмемъ, говоритъ онъ, кондукторъ изъ двухъ частей A и B, которыя можно по произволу сблизить до прикосновенія или удалить одну отъ другой. Приведемъ ихъ въ прикосновеніе и приблизимъ стеклянную трубку къ части A. Какъ скоро это случится, уведемъ часть B не касаясь ея какимъ-либо проводникомъ. Найдемъ что A наэлектризована отрицательно, B — положительно“ **). Что дѣйствіе чрезъ вліяніе есть *полярное*, и появленіе противоположнаго электриче-

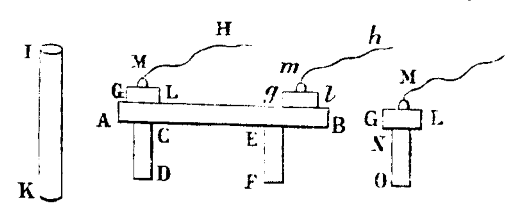
номъ для показанія основныхъ явленій вліянія, предпочитаетъ ставить кондукторъ вертикально надъ наэлектризованнымъ шаромъ, помѣщая при верхнемъ и нижнемъ концѣ по бузинному шарику. При наэлектризованіи шарики отталкиваются кондукторомъ, котораго они касаются когда нѣтъ дѣйствія.

*) Когда шарики были повѣшены на шелковинкахъ, то чтобы заставить ихъ разойтись надо было приблизить трубку значительно ближе; но они оставались взаимно оттолкнутыми нѣкоторое время и по удаленіи трубки. Кантонъ замѣтилъ также что если шарики повѣшены на непроводникѣ, наэлектризованы, напримѣръ, положительнымъ электричествомъ и разошлись отъ взаимнаго отталкиванія,—то при приближеніи стеклянной натертой трубки они сближаются между собою, доходятъ до прикосновенія и вновь удаляются. Вообще объ опытахъ Кантона Пристлей въ своей *Исторіи электричества* отзывается какъ о „представляющихъ такое разнообразіе притяженій и отталкиваній что ихъ можмо счесть чудесными.“ Кантонъ бралъ также изолированные проводники (иногда деревянныя складныя линейки на рюмочкахъ), вѣшалъ на концахъ ихъ шарики на нитяхъ, ставилъ ихъ одинъ за другимъ и заставлялъ шарики расходиться, дѣйствуя чрезъ вліяніе.

*) Вильке говоритъ объ „атмосферѣ“ электричества согласно господствовавшимъ тогда воззрѣніямъ. Разсмотрѣніе электрическихъ дѣйствій какъ *дѣйствій на разстояніи* введено, какъ мы уже видѣли, Эпинусомъ.

**) Упомянемъ еще о двухъ опытахъ Вильке. Поднося остріе къ небольшому изолированному проводнику, приближенному къ наэлектризованному тѣлу и затѣмъ удаляя остріе и тѣло, Вильке находилъ проводникъ наэлектризованнымъ электричествомъ противоположнымъ съ электричествомъ тѣла. Онъ ставилъ далѣе два проводника на изолирующихъ подставкахъ, одинъ за другимъ, и подносилъ къ концу перваго натертую трубку. Пробковый шарикъ на шелковинкѣ висѣвшій между проводниками тотчасъ приходилъ въ качаніе, прикасаясь то къ

ства на частяхъ проводника ближайшихъ къ наэлектризованному тѣлу сопровождается появленіемъ одноименнаго на отдаленныхъ,—съ полною ясностію представилъ Эпинусъ, который



Фиг. 476.

далъ (1759) опыту, доказывающему основное положеніе ученія о вліяніи, слѣдующую форму. „На стеклянныхъ подставкахъ кладется металлическая полоса AB, около фута длиною, на концѣ A кладется металлическая гирька GL около полутора пальца длиною съ колечкомъ вверху, къ которому привязывается шелковая нить MH. Приближаютъ стеклянную наэлектризованную трубку IK на разстояніе пальца отъ конца A и держатъ въ этомъ положеніи. Затѣмъ гирька GL подымается помощію шелковой нити и переносится на стеклянную подставку NO. Гирька оказывается наэлектризованной и притомъ отрицательнымъ электричествомъ (противуположнымъ съ электричествомъ трубки).“ Повторивъ тотъ же опытъ, но помѣщая гирьку не при концѣ A, а при концѣ B въ положеніи lg, находятъ что она наэлектризована положительно, т.-е. одноименнымъ электричествомъ. Замѣнивъ стеклянную трубку сѣрной или смоляной, найдемъ что гирька въ ближайшемъ концѣ наэлектризуется положительно, въ отдаленномъ отрицательно.

§ 339. Различныя явленія объясняющіяся дѣйствіемъ электричества чрезъ вліяніе. 1) *Притяженіе легкихъ тѣлъ.* Когда къ наэлектризованному тѣлу подносится легкій проводникъ, напримѣръ, бузинный шарикъ на нити, то, какъ уже знаемъ, обнаруживается притяженіе, особенно замѣтное если проводникъ не изолированъ: шарикъ повѣшенъ, напримѣръ, на льняной нити. Шарикъ на сухой шелковинѣ притягивается значительно слабѣе. Какъ въ томъ такъ и въ дру-

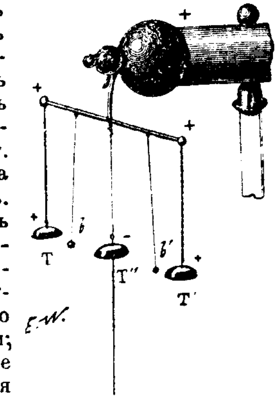
---

одному то къ другому. Если трубка оставалась на неизмѣнномъ разстояніи движеніе шарика мало по малу прекращалось. Оно возобновлялось на нѣкоторое время когда трубка удалялась.

гомъ случаѣ происходитъ въ шарикѣ разложеніе электричества чрезъ вліяніе; но когда шарикъ на шелковинкѣ, оба электричества остаются въ немъ, разноименное въ ближайшихъ, одноименное въ отдаленныхъ его частяхъ по отношенію къ наэлектризованному тѣлу: притяженіе почти парализуется отталкиваніемъ. Но если шарикъ на проводящей нити, то отталкиваемое одноименное электричество уходитъ въ землю, и притяженіе разноименнаго обнаруживается во всей силѣ.

Замѣтимъ что притяженія и отталкиванія, согласно теоріи, испытываются частицами электричества. Между тѣмъ въ явленіяхъ мы наблюдаемъ передвиженія самихъ наэлектризованныхъ тѣлъ. Въ случаѣ непроводниковъ частицы электричества удерживаются частицами тѣла и не имѣютъ свободнаго движенія внутри его, а слѣдовательно и не могутъ двигаться иначе какъ увлекая съ собою частицы тѣла. Въ случаѣ проводника электрическія частицы *внутри тѣла* могутъ перемѣщаться свободно, но распредѣлившись при поверхности, удерживаются окружающею непроводящею средою (воздухомъ; проводникъ какъ бы облеченъ непроницаемою оболочкой или скорлупой, благодаря которой электрическія частицы, будучи притягиваемы или отталкиваемы, не могутъ перемѣститься иначе какъ увлекая съ собою самый проводникъ.

Любопытный примѣръ движеній отъ электрическаго вліянія представляетъ снарядъ Франклина съ *электрическимъ звономъ*. Снарядъ этотъ служилъ Франклину для того чтобы возвѣщать приближеніе грозоваго облака. Повѣсимъ на кондукторъ машины (фиг. 477) три колокольчика, крайніе на цѣпочкахъ, средній на шелковинкѣ. Отъ средняго проведемъ цѣпочку къ землѣ. Между имъ и крайними повѣсимъ металлическіе шарики на шелковинкахъ. Какъ скоро въ снарядъ будетъ проходить электричество, оно вступитъ въ крайніе колокольчики; въ среднемъ произойдетъ разложеніе чрезъ вліяніе, и онъ наэлектризуется противоположно съ крайними. Металлическіе шарики придутъ въ движеніе и, ударяя въ колокольчики, произведутъ звонъ. Движеніе шариковъ происходитъ оттого что, коснувшись одного изъ колоколь-



Фиг. 477.

чиковъ между, которыми виситъ, шарикъ, пріобрѣтетъ отъ него электричество; отталкивается и, будучи притянутъ противоположно наэлектризованнымъ другимъ колокольчикомъ, съ силою устремляется къ нему; отдаетъ свое электричество, причемъ происходитъ искра, вновь электризуется, отталкивается и т. д.

2) *Электрическій разрядъ въ формѣ искры, кисти или сіянія.* Приближая проводникъ постепенно къ наэлектризованному тѣлу, не трудно замѣтить что когда онъ достигаетъ извѣстной близости, между ними выскиваетъ искра и наэлектризованное тѣло теряетъ часть электричества. Разстояніе это зависитъ отъ степени наэлектризованія тѣла *) и отъ качествъ среды раздѣляющей тѣла, между которыми обнаруживается искра. Явленіе происходитъ отъ того что, при извѣстной степени близости, взаимное притяженіе разноименныхъ электричествъ становится столь значительнымъ что раздѣляющій ихъ слой воздуха или инаго проводника неможетъ удержать скопившихся электричествъ, и они соединяются. Происходитъ *электрическій разрядъ*, сопровождающійся искрою. Искра сравнительно незначительна если наэлектризованное тѣло непроводникъ, ибо въ такомъ случаѣ электричество отнимается лишь отъ ближайшихъ къ проводнику частицъ, не притекая отъ остальныхъ. Если приближаемый проводникъ оканчивается остріемъ, то возбуждаемое чрезъ вліяніе электричество уже, на сравнительно значительномъ разстояніи, пріобрѣтаетъ на остріѣ сильное напряженіе; частицы воздуха или иной изолирующей среды, окружающей остріе, электризуются, и происходитъ постепенный разрядъ, не столь стремительный какъ искра, обнаруживающійся въ темнотѣ сіяніемъ или кистію свѣта.

Искра, если она коротка, имѣетъ видъ прямолинейной полоски съ свѣтлымъ ореоломъ вокругъ; болѣе

*) Если тѣло это само проводникъ, то это разстояніе или *длина искры* пропорціонально толщинѣ электрическаго слоя въ томъ мѣстѣ гдѣ искра извлекается.

длинныя искры имѣютъ видъ зигзага подобно молніи. Искра, какъ показываетъ спектральный анализъ, есть совокупность раскаленныхъ частицъ тѣлъ, между которыми извлекается и раскаленныхъ частицы среды въ которой образуется.

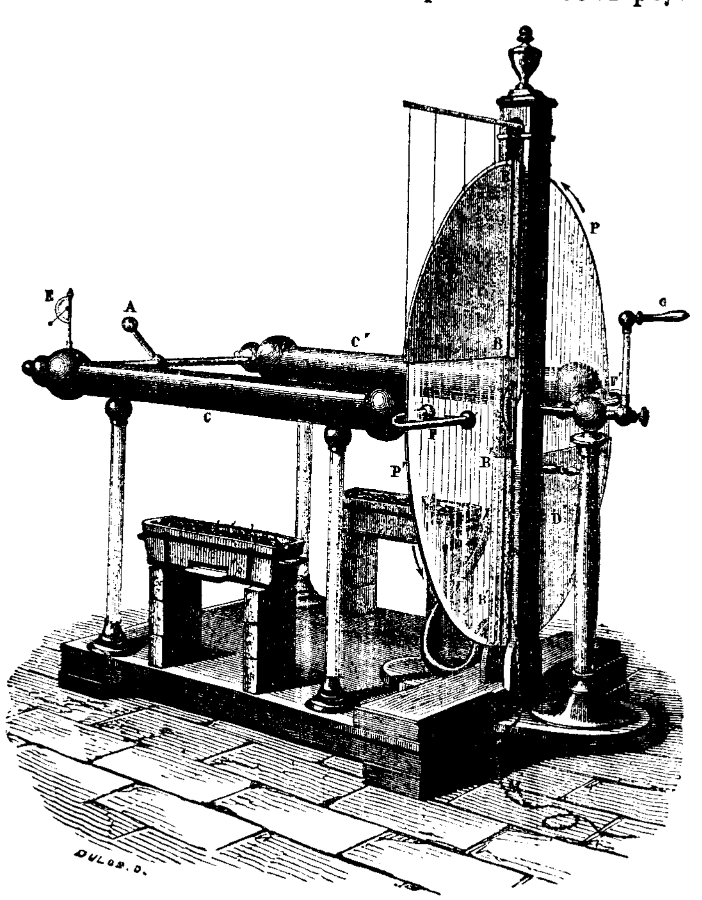
Въ разрѣженномъ пространствѣ, гдѣ сопротивленіе значительно меньше чѣмъ въ средѣ нормальной плотности, длина разряда значительно увеличивается, и искра превращается въ широкія мерцающія полосы свѣта, качества которыхъ зависятъ отъ качествъ разрѣженной среды *).

Въ указанныхъ здѣсь случаяхъ разрядъ происходитъ между наэлектризованнымъ тѣломъ и приближаемымъ проводникомъ. Но снабженное остріемъ наэлектризованное тѣло, если оно есть проводникъ поддерживаемый изоляторомъ, разряжается безъ приближенія сторонняго проводника. Электричество какъ говорится *стекаетъ* чрезъ остріе. Но и въ этомъ случаѣ, какъ и во всѣхъ другихъ, разрядъ обусловливается соединеніемъ двухъ электричествъ и дѣйствіемъ чрезъ вліяніе на частицы окружающей среды и ограничивающія ее тѣла.

3) *Сообщеніе электричества на разстояніи.* Примѣръ такого сообщенія имѣемъ въ обыкновенной *элек-*

*) Мы упоминали уже о томъ что наэлектризованное тѣло находящееся въ воздухѣ постепенно теряетъ электричество уносимое воздушными прикасающимися частицами. Такое *разсъяніе* или невидимый разрядъ электричества,—происходяшее медленно, свидѣтельствуя о дурной проводимости воздуха,— значительнѣе въ густомъ чѣмъ въ разрѣженномъ воздухѣ. Но разрядъ прерывистый, сопровождающійся свѣтомъ устанавливается въ воздухѣ значительно легче чѣмъ напримѣръ въ водѣ, и тѣмъ легче чѣмъ воздухъ рѣже. Количество электричества даннаго напряженія, которое въ пространствѣ наполненномъ воздухомъ обыкновенной плотности испытываетъ только разсѣяніе, при разрѣженіи воздуха принимаетъ другую форму разряда: изъ невидимаго и постепеннаго онъ преобразуется въ прерывистый и сопровождающійся свѣтомъ ученіе Риса).

трической машинѣ. Кондукторъ машины (фиг. 477) не касается непосредственно стекляннаго круга натираемаго кожаными подушками покрытыми слоемъ ртут-

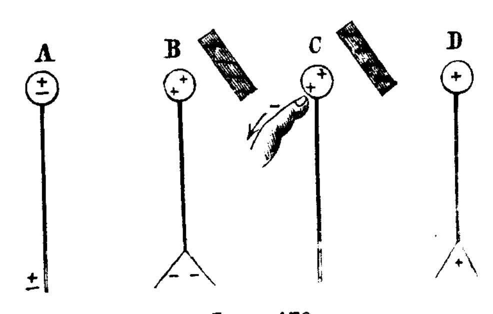


Фиг. 478.

ной амальгамы, а только приближенъ къ кругу обнимая его своими винтообразными вѣтвями, снабженными на внутренней сторонѣ остріями. Кругъ, элек-

тризуясь треніемъ, дѣйствуетъ чрезъ вліяніе на кондукторъ, разлагаетъ его электричество, притягивая разноименное и отталкивая одноименное. Разноименное чрезъ острія соединяется съ электричествомъ круга; одноименное скопляется на кондукторѣ до того предѣла когда въ кондукторъ будетъ столько прибывать электричества сколько имъ теряется чрезъ воздухъ. Такимъ образомъ электричество доставляемое кондукторомъ не есть то самое которое возбуждается на стеклѣ, но происходитъ отъ разложенія собственнаго электричества кондуктора Въ машинахъ первоначальнаго устройства какъ въ машинѣ Ноллета (фиг. 457 и 462) роль остріемъ играли углы четвероугольныхъ кондукторовъ. Такъ какъ кондукторъ заряжается отталкиваемымъ электричествомъ, то электричество это того же знака какъ электричество самаго круга,—положительное въ случаѣ стекляннаго круга натираемаго амальгамой.

4) *Электризованіе электроскопа чрезъ вліяніе.* Приближая къ электроскопу наэлектризованное тѣло, замѣчаемъ что листочки начинаютъ расходиться значительно прежде прикосновенія тѣла къ шарику электроскопа. Явленіе объясняется дѣйствіемъ чрезъ вліяніе. Такимъ образомъ, когда къ электроскопу, изображенному на фиг. 478 *A*, поднести тѣло наэлектри-



Фиг. 479.

зованное, напримѣръ, отрицательно, то естественное электричество электроскопа разлагается, какъ изображено на фиг. 478 *B*: положительное притягивается въ шарикъ, отрицательное угоняется въ листочки, которые и расходятся, отталкиваясь взаимно.

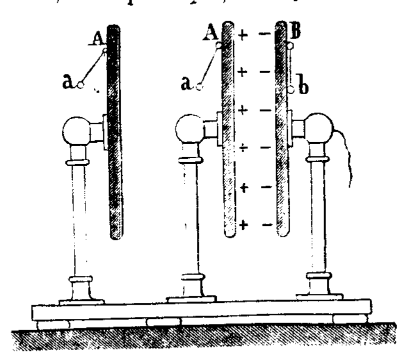
Если въ то время какъ электроскопъ находится подъ вліяніемъ приближеннаго тѣла, коснуться шарика его пальцемъ то, какъ изображено на фиг. 478 *C*, отрицательное электричество уйдетъ чрезъ палецъ въ землю; листочки сблизятся. Если затѣмъ удалить и палецъ и тѣло, то удерживавшееся на шарикѣ электроскопа положительное электричество распространится по стержню и листочкамъ: листочки разойдутся положительнымъ электричествомъ, т.-е. *разноименнымъ* съ электричествомъ тѣла. Этимъ отличается сообщеніе электричества электроскопу чрезъ вліяніе отъ сообщенія чрезъ прикосновеніе; въ послѣднемъ случаѣ листочки расходятся, получая электричество *одноименное* съ электричествомъ тѣла.

Если листочкамъ электроскопа сообщенно опредѣленное электричество, и они остаются разошедшимися, то электроскопомъ можно воспользоваться чтобъ узнать какимъ электричествомъ наэлектризовано данное тѣло.

Если при приближеніи тѣла листочки расходятся еще болѣе, то это признакъ что тѣло наэлектризовано тѣмъ самымъ электричествомъ какое уже имѣютъ листочки (дѣйствительно, въ такомъ случаѣ электричество гонимое дѣйствіемъ чрезъ вліяніе въ листочки будетъ того же рода какъ присутствующее тамъ и увеличитъ ихъ взаимное отталкиваніе). Если, напротивъ, расходимость листочковъ уменьшится то это признакъ, что гонимое въ нихъ электричество разноименно съ присутствующимъ и его нейтрализуетъ. Таково слѣдовательно и электричество приближаемаго тѣла.

Послѣднее заключеніе не есть, впрочемъ, въ всякомъ случаѣ необходимо вѣрное, ибо и вовсе ненаэлектризованное тѣло, напримѣръ приближаемая рука, будучи поднесено къ электроскопу, уменьшаетъ расходимость листочковъ, такъ какъ само электричество электроскопа возбуждаетъ въ немъ разноименное электричество, которое въ свою очередь дѣйствуетъ на электроскопъ.

5) *Дѣйствіе проводника въ качествѣ конденсатора.* Возьмемъ металлическій дискъ *A* (фиг. 479) на изолирующей подставкѣ и сообщимъ ему электричество прикоснувшись, напримѣръ, шарикомъ заряженной



Фиг. 480.

лейденской банки. Дискъ приметъ отъ внутренней обкладки банки нѣкоторое количество *m* электричества (допустимъ положительнаго), опредѣленное въ данныхъ условіяхъ опыта. Электричество это расположится какъ на передней такъ и на задней сторонѣ диска, и бузинный шарикъ *a*, отклонившись, покажетъ его напряженіе на задней сторонѣ.

Повторимъ тотъ же опытъ но съ тою разницею, что предварительно поставимъ на близкомъ разстояніи отъ диска *A* другой такой же дискъ *B* соединенный съ землею. Сообщимъ электричество отъ банки такъ чтобы шарикъ *a*, отклонившись, показалъ на задней сторонѣ приблизительно ту же степень заряда какъ въ предыдущемъ опытѣ. Удалимъ дискъ *B*; от-

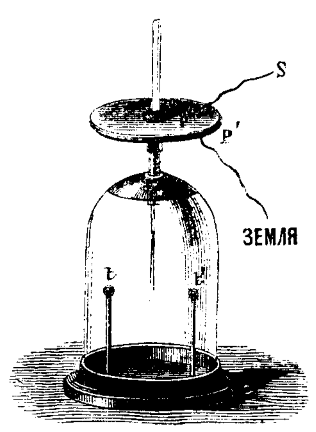
клоненіе шарика a увеличится значительно, свидѣтельствуя что общее количество электричества принятаго дискомъ въ второмъ опытѣ значительно болѣе принятаго въ первомъ. Явленіе объясняется дѣйствіемъ чрезъ вліяніе.

Дѣйствительно, если, наэлектризовавъ дискъ A стоящій отдѣльно, приблизимъ его къ диску B соединенному съ землею, то въ дискѣ B чрезъ вліяніе произойдетъ разложеніе электричества: одноименное (положительное въ нашемъ случаѣ) уйдетъ въ землю, отрицательное скопится на сторонѣ обращенной къ диску A. Отрицательное электричество диска B, въ свою очередь притягивая положительное диска A, переведетъ его на сторону обращенную къ B. Шарикъ a опустится, свидѣтельствуя что электричество съ задней стороны диска A перешло почти все на переднюю его сторону. Дискъ A можетъ принять новое количество электричества. Потому когда сообщеніе электричества диску A происходитъ въ сосѣдствѣ диска B, дискъ A можетъ принять значительно большее количество электричества чѣмъ въ случаѣ когда онъ былъ одинъ. Электрическая емкость диска значительно увеличилась. Снарядъ именуется *конденсаторомъ* (при чемъ дискъ A принимающій электричество называется *коллекторомъ*, дискъ B соединенный съ землею, собственно конденсаторомъ или сгустителемъ).

Въ разсматриваемомъ примѣрѣ диски A и B раздѣлены слоемъ воздуха. Явленія вліянія обнаруживаются и въ томъ случаѣ если между ними находится какое-либо иное непроводящее тѣло, напримѣръ слой стекла, смолы и т. под.

Присутствіе твердаго непроводящаго слоя между проводниками дѣйствующими чрезъ вліяніе, усложняетъ, впрочемъ явленіе, такъ какъ твердые непроводники также въ извѣстной степени испытываютъ дѣйствіе вліянія. Въ слѣдствіе сего дѣйствіе наэлектризованнаго тѣла на проводникъ бываетъ не совсѣмъ одинаково, смотря по тому какой непроводникъ находится между ними (опыты Фарадея).

Увеличеніе способности проводника удерживать и принимать электричество, вслѣдствіе сосѣдства другаго проводника, было доказано италіанскимъ физикомъ Вольтою *), помощію любопытныхъ опытовъ, описанныхъ въ сочиненіи „Объ электрической емкости проводниковъ“, которые и привели его къ изобрѣтенію *кондесатора* (1783).



Фиг. 481.

Въ качествѣ конденсатора, особенно удобнаго для опытовъ, Вольта употреблялъ два металлическіе диска покрытые лакомъ съ тѣхъ сторонъ, которыми они налагаются одинъ на другой. Лакъ игралъ роль непроводника раздѣляющаго диски. Электричество принятое однимъ изъ дисковъ испытывалось, по удаленіи другаго, помощію электроскопа (въ которомъ вмѣсто золотыхъ листочковъ Вольта употреблялъ обыкновенно соломенки,

---

*) Вольта, знаменитый изобрѣтатель Вольтова столба или гальванической баттареи, родился въ Комо 1745 года, въ достаточномъ дворянскомъ семействѣ; получилъ серіозное образованіе (восемнадцати лѣтъ сочинилъ латинскую поэму и былъ въ перепискѣ съ Ноллетомъ). Электрическіе опыты рано привлекли его вниманіе; въ 1776 онъ изобрѣлъ электрофоръ, около того же времени открылъ воспламеняющійся болотный газъ а въ 1783 году изорѣлъ конденсаторъ. Послѣ открытій Гальвани предался изученію новой отрасли явленій, наименованныхъ гальванизмомъ, открылъ электричество отъ прикосновенія, а въ 1800 изобрѣлъ свой столбъ,— изобрѣтеніе принадлежащее, по выраженію Араго, къ числу удивительнѣйшихъ, какія только сдѣлалъ человѣкъ, не исключая даже телескопа и паровой машины. Вольта умеръ въ 1827 году. Его тріумфомъ было пребываніе въ Парижѣ въ 1801 году.

чрезъ что снарядъ былъ менѣе чувствителенъ, но показанія давалъ болѣе правильныя, подлежащія измѣренію. Въ послѣдствіи, вмѣсто отдѣльнаго конденсатора, его стали навинчивать на электроскопъ. Фиг. 480 изображаетъ такой *электроскопъ съ кондесаторомъ* *).

Опишемъ первоначальные опыты Вольты надъ сгущеніемъ электричества. „Какъ сдѣлать чтобы металлическій или иной проводникъ очень долго сохранялъ сообщенное ему электричество, хотя онъ не изолированъ или, точнѣе, очень дурно изолированъ. Скажу больше чтобъ онъ сохранялъ электричество упорнѣе чѣмъ еслибы былъ наилучше изолированъ?“ Такова одна изъ задачъ или, какъ онъ называетъ „электрическихъ парадоксовъ“ какіе Вольта выставляетъ въ началѣ упомянутаго выше трактата „Объ электрической емкости сопряженныхъ проводниковъ“. „Я беру, отвѣчаетъ Вольта, металлическій дискъ съ закругленными краями, вѣшаю его на шелковыхъ снуркахъ или держу на стеклянной ручкѣ покрытой слоемъ сургуча,—такъ что онъ хорошо изолированъ. Сообщаю ему сильное электричество, затѣмъ приближаю къ стѣнѣ, деревянной доскѣ, мраморному столу или иному подобному тѣлу, доводя до прикосновенія. Что же случается? Если тѣла эти не смочены и вообще не влажны, если дискъ приложенъ ровно всѣми частями, то нахожу что, по удаленіи, онъ даетъ еще сильную искру“. Такимъ образомъ электричество сохраняется въ дискѣ, несмотря на то что тѣла на которыя онъ положенъ проводятъ электричество (хотя и не въ такой степени какъ металлы). Еслибы „положить дискъ на тѣло совершенно изолирующее то онъ скорѣе потерялъ бы электричество, чѣмъ когда положенъ, напримѣръ, на мраморномъ столѣ... Электричество при этомъ сохраняется съ такимъ упорствомъ, что не уходитъ вполнѣ даже если неизолированный наблюдатель неоднократно тронетъ дискъ пальцемъ или дастъ нѣсколько ударовъ металломъ... Я держалъ въ прикосновеніи съ дискомъ палецъ или металлическую полосу болѣе полуминуты и не могъ отнять всего электричества: его осталось довольно чтобы дать искру когда дискъ былъ поднятъ со стола“. Тѣло къ которому прикасается дискъ не должно, впрочемъ, быть хорошимъ проводникомъ. „Голыя металлическія поверхности, влажныя ткани, сырое дерево... не способны удержать электричества, по крайней мѣрѣ въ продолженіе значительнаго времени; даже мраморъ оказывающій превосходное дѣйствіе когда сухъ, не годится если смоченъ или хоть потускнѣлъ. Когда я приводилъ наэлектри-

*) Въ качествѣ сгустителя Вольта употреблялъ иногда свою руку, одѣтую въ рукавицу изъ тафты пропитанной изоляторомъ.

зованный дискъ въ прикосновеніе съ металлическою поверхностію, то какъ бы скоро не удалялъ его, онъ едва удерживалъ столько электричества чтобы притянуть легкую нить. Когда же прикасалъ его къ поверхности бокомъ или вообще такъ что онъ касался лишь въ немногихъ точкахъ, то не могъ замѣтить малѣйшаго остатка электричества“. Но если покрыть проводящее тѣло тонкимъ слоемъ непроводника, то оно окажетъ дѣйствіе. Вольта употреблялъ тонкій слой сургуча или иного смолистаго вещества, а также лака. Покрытые такимъ образомъ „маленькіе столики изъ дерева, картона, даже металла“ оказывали дѣйствіе, а также навощеное полотно и картина масляными красками.

Въ описанныхъ опытахъ тѣло на которое кладется дискъ служило къ тому чтобы сохранять электричество, сообщенное диску прежде чѣмъ онъ приведенъ въ прикосновеніе съ этимъ тѣломъ. Но станемъ электризовать дискъ въ то время когда онъ лежитъ уже на мраморномъ столѣ или иномъ изъ упомянутыхъ тѣлъ. „Намъ покажется что электричество проходитъ чрезъ дискъ, не скопляясь или по крайней мѣрѣ оставаясь въ немъ въ незначительномъ количествѣ, ибо онъ не только не даетъ кистей свѣта но и не обнаруживаетъ замѣтной искры при прикосновеніи пальца. Можно подумать что дискъ вовсе не пріобрѣлъ электричества или пріобрѣлъ крайне мало. Но подымите дискъ и приближьте палецъ и увидите что то что̀ казалось едва тѣнью электричества обнаружитъ довольно силы чтобы дать искру въ палецъ длиною, а иногда даже самопоявляющуюся струю свѣта“... Во время электризованія можно даже касаться пальцемъ диска и онъ тѣмъ не менѣе замѣтно наэлектризуется, если лежитъ на мраморномъ столѣ. „Вслѣдствіе такой увеличившейся емкости по отношенію къ электричеству, дискъ... принимаетъ значительное количество электричества отъ источника очень слабой силы; когда коснемся его, напримѣръ, крючкомъ лейденской банки, очень слабо заряженной... Когда дискъ совершенно изолированъ, то чтобъ его сильно наэлектризовать потребны или отличная электрическая машина или электрофоръ *), или сильно заряженная лейденская банка, или иное тѣло съ сильнымъ напряженіемъ электричества. Если коснемся его лейденскою банкою, дающею искру не болѣе какъ на двѣ, на три линіи разстоянія, то дискъ получитъ электричество развѣ что такой же силы и много если дастъ искру на разстояніи двухъ или трехъ линій. И вотъ я предлагаю вамъ средство, столь же простое и удобное, сколько удивительное и неожиданное, получить искры значительно болѣе сильныя. Для этого достаточно положить дискъ на какую-нибудь изъ плоскостей, о которыхъ я столько говорилъ, и прикоснуться крючкомъ банки слабо заряженной; увидимъ что она отдастъ знатную долю своего заряда; дискъ завладѣетъ огромнымъ количе-

*) Объ этомъ снарядѣ будетъ сказано въ слѣдующемъ параграфѣ.

ствомъ электричества и удержитъ его, оказывая лишь слабое усиліе разрядиться, благодаря необычайной емкости какую ему дали, помѣстивъ его въ благопріятныя условія.. Поднявъ дискъ и возвративъ чрезъ то его къ его естественной малой емкости, увидимъ что искра выскочитъ на нѣсколько дюймовъ."

Условіе при которомъ обнаруживается увеличеніе электрической емкости диска, какъ видно изъ описанныхъ опытовъ, состоитъ въ томъ, что между элекризуемымъ дискомъ и проводникомъ, дѣйствующимъ въ качествѣ сгустителя, лежитъ тонкій слой изолатора: слой лака или смолистаго вещества, если сгуститель изъ металла, полотна, не довольно сухаго дерева; слой воздуха и верхній слой самого сгустителя, если онъ изъ веществъ средней проводимости, какъ мраморъ, —представляющихъ значительное сопротивленіе движенію электричества, но чрезъ вліяніе достаточно сильно электризующихся.

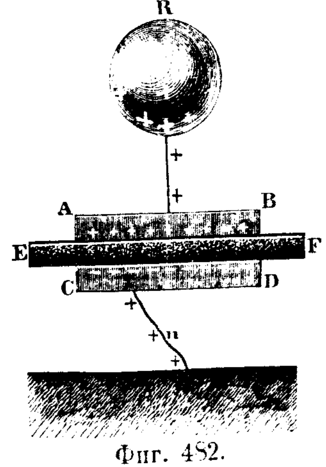
Одно изъ первыхъ приложеній конденсатора Вольта сдѣлалъ къ опредѣленію слабыхъ показаній атмосфернаго электричества. Онъ приводилъ свой конденсаторъ (металлическій дискъ, лежавшій на деревянной плоскости покрытой лакомъ или еще лучше на поверхности электрофора, смоляной слой котораго былъ очень тонокъ) съ проволокою проведенной отъ металлическаго шеста привлекавшаго атмосферное элекгричество; оставлялъ дискъ болѣе или менѣе значительное время въ сообщеніи съ шестомъ (иногда нѣсколько минутъ) и затѣмъ, приподнявъ, испытывалъ его электричество.

О приложеніи конденсатора къ обнаруженію электричества отъ прикосновенія разнородныхъ тѣлъ будемъ говорить ниже.

6) *Электризованіе лейденской банки.* Франклинъ доказалъ, какъ мы видѣли въ § 332, что внутренняя и внѣшняя обкладки заряженной лейденской банки наэлектризованы противоположными электричествами. Явленіе объясняется дѣйствіемъ чрезъ вліяніе. Положимъ, напримѣръ, что, приблизивъ шарикъ банки къ кондуктору машины до прикосновенія или на такое разстояніе что онъ получаетъ искры *), мы электризуемъ внутреннюю обкладку положительнымъ электричествомъ. Это положительное электричество дѣйствуетъ чрезъ вліяніе на естественное электричество

*) Въ первомъ случаѣ электричество непосредственно переходитъ въ шарикъ, во второмъ переходъ дѣлается чрезъ вліяніе: электричество кондуктора соединяется путемъ искры съ разноименнымъ электричествомъ шарика, оставляя въ немъ и во всей внутренней обкладкѣ одноименное.

внѣшней обкладки и разлагаетъ его, притягивая разноименное (отрицательное) и отталкивая одноименное, которое чрезъ руку наблюдателя, держащаго банку, или чрезъ иной проводникъ уходитъ (фиг. 482, гдѣ снарядъ изображенъ въ формѣ Франклиновой доски) въ землю; отрицательное же располагается на внѣшней обкладкѣ, удерживаемое внутреннимъ положительнымъ *). Количество принимаемаго банкою электричества значительно, такъ какъ она представляетъ собою кондесаторъ, состоя изъ двухъ металлическихъ обкладокъ, раздѣленныхъ непроводникомъ.

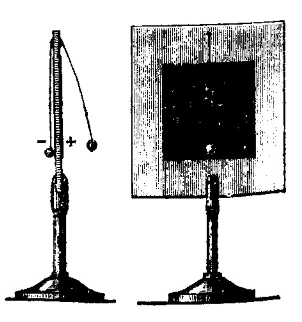


Фиг. 482.

Помѣстивъ заряженную банку на непроводникѣ, можемъ убѣдиться что внѣшняя обкладка не даетъ искры при приближеніи пальца, между тѣмъ какъ приближая палецъ къ шарику внутренней обкладки, получаемъ искру. Явленіе объясняется тѣмъ что электричество притекло на внѣшнюю обкладку, въ то время когда она была соединена съ землею, именно въ такомъ количествѣ какое можетъ быть удержано электричествомъ внутренней обкладки. Что касается до электричества внутренней обкладки, то его можно разсматривать состоящимъ изъ двухъ частей: одна удерживается при самой обкладкѣ притяженіемъ отрицательнаго электричества внѣшней обкладки; другая, свободная, располагается напроводникѣ и шарикѣ, чрезъ которые банка получаетъ электричество

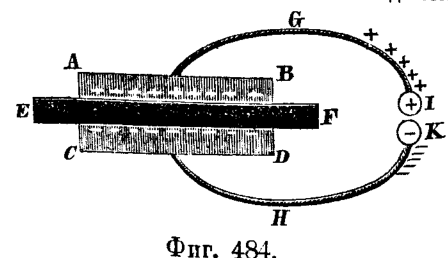
*) Можно, впрочемъ, непосредственно доставить противоположное электричество обкладкамъ, сообщая одну изъ нихъ съ источникомъ положительнаго, другую съ источникомъ отрицательнаго электричества (проведя, напримѣръ, проволоку отъ подушекъ машины ко внѣшней обкладкѣ банки въ то время какъ внутренняя получаетъ электричество отъ кондуктора). Если полъ комнаты гдѣ производятся опыты не довольно хорошо проводитъ, то этотъ второй способъ предпочтительнѣе перваго. Онъ обыкновенно употребляется, какъ увидимъ, при заряженіи банокъ машинами новаго изобрѣтенія Гольтца, Румкорфа).

отъ машины. Но какъ скоро, коснувшись шарика пальцемъ, мы извлекли искру, и чрезъ это внутренняя обкладка потеряла часть электричества, то оставшееся количество не можетъ уже удержать всего электричества внѣшней обкладки; часть его становится *свободною* и можетъ быть, давая искру, уведена чрезъ прикосновеніе пальца. По удаленіи ея, освобождается часть электричества внутренней обкладки; изъ шарика вновь можно получить искру и т. д. Эту послѣдовательность явленій удобно наблюдать на Франклиновой доскѣ (фиг. 483), теорія которой та же какъ и банки. Повѣсивъ на той и другой обкладкѣ по бузинному шарику, можно убѣдиться что когда, чрезъ прикосновеніе пальца, уводится свободное электричество съ одной обкладки, и висящій на ней шарикъ не показываетъ признаковъ электричества, нѣкоторое количество электричества становится свободнымъ на другой обкладкѣ, и ея шарикъ отталкивается. Такими послѣдовательными прикосновеніями банка или доска разряжаются постепенно. Но если вмѣсто того чтобы



Фиг. 483.

послѣдовательно касаться той и другой обкладки, мы соединимъ внутреннюю обкладку съ внѣшнею помощію металлической дуги разрядника или вообще помощію проводящей цѣпи (которая, впрочемъ можетъ представлять перерывы незначительной величины), то получится сильный разрядъ, сопровождающійся появленіемъ значительной искры, какъ въ мѣстѣ замыканія, такъ и вообще во всѣхъ мѣстахъ перерыва. Пусть, напримѣръ, (фиг. 484) двѣ металлическія вѣтви соединены, одна съ



Фиг. 484.

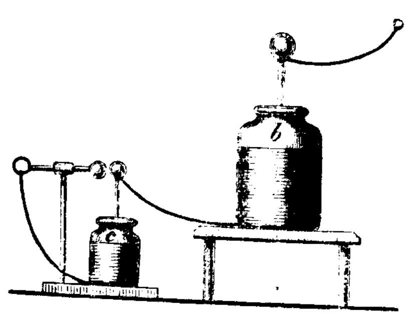
внутреннею, другая съ внѣшнею обкладками банки и сближаются взаимно. Вѣтвь соединенная съ обкладкою AB, на которой, допустимъ, есть избытокъ свободнаго электричества, электризуется. На концѣ I обнаруживается положительное электричество. Въ свою очередь, конецъ K вѣтви H электризуется

отрицательно, отчасти чрезъ вліяніе, отчасти вслѣдствіе освобожденія нѣкотораго количества электричества обкладки CD (благодаря удаленію части электричества на вѣтвь G). Когда шарики K и I сближены на надлежащее разстояніе (которое вообще не велико, ибо ихъ электрическое напряженіе незначительно), то происходитъ первая струя разряда. Послѣдуетъ моментальное возвращеніе вѣтвей въ ненаэлектризованное состояніе. Затѣмъ тотчасъ наступитъ новое распредѣленіе оставшихся электричествъ: вѣтви вновь наэлектризуются. Наэлектризованіе это слабѣе чѣмъ при началѣ, но такъ какъ, вслѣдствіе первой струи разряда воздухъ, нагрѣваясь и разрѣжаясь, дѣлается болѣе проводящимъ, то произойдетъ вторая струя разряда, хотя бы шарики K и I оставались на прежнемъ разстояніи. За второю струей послѣдуетъ третья и т. д. Эти струи будутъ слѣдовать одна за другою чрезъ столь малые промежутки времени, что вся совокупность ихъ представится какъ одно явленіе,—одна искра которая, несмотря на то что состоитъ изъ цѣлой послѣдовательности разрядовъ или искръ, продолжается малую долю секунды, иногда едва милліонную *). Въ случаѣ если, какъ мы и предполагали, шарики K и I сближаются не до прикосновенія, а лишь до того разстоянія при которомъ происходитъ разряженіе, то однимъ разрядомъ (т.-е. одною совокупностію частныхъ разрядовъ) не потребляется все количество электричества заряжающаго банку. Болѣе или менѣе значительная часть (смотря по свойству разряжающаго проводника) остается въ снарядѣ. Чтобы разрядить банку вполнѣ, должно внѣшнюю и внутреннюю обкладки привести въ непрерывное металлическое сообщеніе. Но и въ этомъ случаѣ, если сообщеніе было кратковременно, послѣ перваго разряда можно, спустя нѣкоторое время, получить второй и болѣе. Явленіе зависитъ отъ проникновенія электричества въ толщу стекла и медленнаго возвращенія его къ обкладкамъ.

Для измѣренія количества электричества принимаемаго банкой или батареей удобно можетъ служить электрометръ называемый *измѣрительною банкой Лана* (Lane, въ Англіи 1767). Это есть небольшая лейденская банка, отъ внѣшней обкладки которой

*) О чрезвычайной кратковременности эликтрической искры можно судить, освѣщая ею, въ темной комнатѣ, быстро движущійся предметъ (см. выше § 261). Прибавимъ что явленіе разряда осложняется еще тѣмъ обстоятельствомъ что въ нѣкоторыхъ случаяхъ обкладки, въ краткій срокъ разряда, нѣсколько разъ перемѣняютъ свое электрическое состояніе: наэлектризованная первоначально положительно временно получаетъ отрицательное наэлектризованіе и наоборотъ, такъ что частные разряды или струи мѣняютъ направленіе (изслѣдованія германскаго ученаго Федерсена, 1862).

идетъ проволока къ стержню оканчивающемуся шарикомъ, помѣщаемымъ на небольшомъ, не измѣняемомъ во все время опыта, разстояніи отъ шарика банки. Какъ скоро банка эта получитъ нѣкоторое опредѣленное количество m электричества, достаточное для того чтобы побѣдить препятствіе слоя воздуха раздѣляющаго шарики, она сама собою разрядится. Это количество можно принять за единицу мѣры. Такимъ образомъ, если хотимъ узнать количество электричества поступающее въ банку b (фиг. 485) въ данное время, то помѣ-



Фиг. 485.

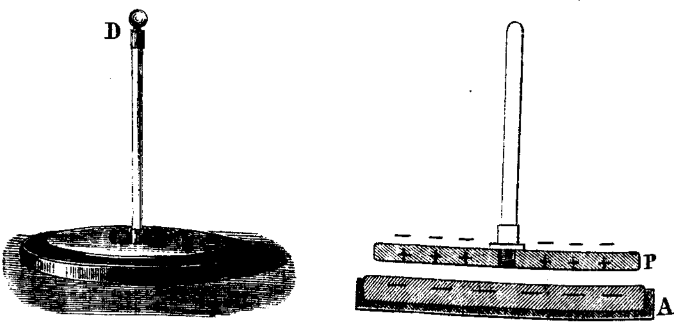
щаемъ банку эту на скамейкѣ съ изолирующими ножками и соединяемъ ея внѣшнюю обкладку не съ землею, а съ внутреннею обкладкой банки Лана c. Вступающее въ банку b электричество отталкиваетъ соотвѣтствующее количество одноименнаго электричества изъ внѣшней обкладки въ банку Лана, которая и разряжается, какъ скоро это количество достигло величины m. При каждомъ вступленіи такого количества, банка вновь разряжается. Число ея разрядовъ въ данное время пропорціонально количеству электричества принимаемому банкой b въ это время. Если въ одномъ опытѣ банка разрядилась десять разъ, въ другомъ двадцать, то заключаемъ что количество электричества принимаемое банкой b во второмъ опытѣ вдвое болѣе чѣмъ въ первомъ. Кромѣ *количества* электричества заряжающаго данную банку или батарею, должно обращать вниманіе на его *плотность*. Плотностью называется количество электричества соотвѣтствующее единицѣ поверхности банки или батареи; она получается если раздѣлить количество вступившаго электричества на величину поверхности обкладки; а сравнительно, въ случаѣ двухъ батарей изъ одинаковыхъ банокъ, — на число банокъ въ каждой батареѣ. Дѣйствіе банки или батареи опредѣляется какъ количествомъ заряжающаго ее электричества, такъ и его плотностію. Отъ плотности зависитъ стремительность разряда, который тѣмъ кратковременнѣе, при дан-

ныхъ условіяхъ, чѣмъ значительнѣе плотность. То же количество при разной плотности дѣйствуетъ съ разною стремительностію; и большая разница — разрядить батарею изъ многихъ банокъ, заключающую данное количество электричества, или одну банку заряженную тѣмъ же количествомъ.

Ученіе о вліяніи приложилъ къ случаю лейденской банки Эпинусъ, сдѣлавшій знаменитый въ свое время опытъ съ Франклиновою доской, въ которой стекло замѣнено слоемъ воздуха. „Послѣ того, говоритъ онъ, какъ узнали что воду (внутри лейденской банки) можно съ одинаковымъ успѣхомъ замѣнить какимъ-либо инымъ проводникомъ... легко могла родиться мысль что и стекло можетъ быть замѣнено инымъ какимъ-либо непроводникомъ, и какъ извѣстно что воздухъ непроводникъ, то естественно было испытать, не можетъ ли онъ замѣнить собою стекло въ опытѣ. Но сколько знаю, это никому не пришло въ голову, и самъ я напалъ на такую мысль не этимъ путемъ, какъ онъ ни естественenъ, но приведенъ былъ къ ней чрезъ Франклинову теорію". Эпинусъ взялъ двѣ желѣзныя доски, каждая около фута шириной и полтора фута длиной, и помѣстилъ ихъ одну надъ другою такъ что между ними оставался слой воздуха; электризовалъ верхнюю, соединивъ нижнюю съ землею. Если по наэлектризованіи подносилъ руку къ верхней то получалъ искру производившую ощущеніе какъ обыкновенная искра извлекаемая изъ наэлектризованнаго тѣла. „Но если коснувшись одною рукой нижней доски подносилъ другую къ верхней, то получалась искра сопровождавшаяся сильнымъ и болѣзненнымъ ощущеніемъ во всей рукѣ извлекавшей искру изъ верхней доски и въ пальцахъ прикасавшейся къ нижней." Взявъ, наконецъ, двѣ большія и тонкія деревянныя доски обложенныя металлическими листами, около восьми квадратныхъ футовъ въ площади, и помѣстивъ ихъ параллельно одна надъ другой, такъ что оставшійся между ними слой воздуха имѣлъ около $1^1/_2$ пальца толщины, Эпинусъ получилъ ударъ совершенно подобный удару лейденской банки. Впрочемъ какъ мы видѣли выше, стекло лейденской банки не только имѣетъ значеніе непроводника раздѣляющаго обкладки, но и само проникается электричествомъ, такъ что не пассивно только участвуетъ въ явленіи.

§ 340. Электрофоръ. Въ 1776 году большое впечатлѣніе на ученыхъ, занимавшихся изученіемъ электрическихъ явленій, произвелъ снарядъ, родъ новой электрической машины, изобрѣтенный Вольтою и наименованный имъ *вѣчнымъ электрофоромъ* (electrophoro perpetuo). „Инструментъ этотъ (значится въ письмѣ изъ Вѣны къ редактору *Физическаго журнала*, чрезъ который открытіе сдѣлалось извѣстнымъ во

Франціи) принадлежитъ къ числу самыхъ простыхъ но производитъ удивительныя дѣйствія. Изобрѣтенъ онъ въ 1775 году италіанскимъ дворяниномъ изъ Комо, Александромъ Вольтою. Весь снарядъ сотоитъ изъ двухъ металлическихъ досокъ; одна изъ нихъ должна быть покрыта слоемъ смолы около полуторы линіи толщиною; другая снабжена тремя шелковыми снурками (на фиг. 486 снурки замѣнены стеклянною ручкою и нижняя доска имѣетъ форму плоскаго сосуда) чтобы, можно было ее легко положить на смоляной слой и поднять, не прикасаясь. Когда хотятъ пользоваться снарядомъ, то натираютъ смоляной слой рукою, или кожаною перчаткой, или мѣхомъ; потомъ помощію снурковъ переносятъ другую доску (именуемую *щитомъ*) на этотъ слой. Затѣмъ должно коснуться концемъ пальцевъ краевъ какъ той такъ и другой металлической доски,—обыкновенно достаточно коснуться верхней,—и поднять на высоту 8 или 9 дюймовъ верхнюю доску. Изъ нея можно будетъ, приближая суставъ пальца, извлечь



Фиг. 486.

Фиг. 487.

сильную искру, если только края ея не остры. Послѣ перваго опыта вновь опустите верхнюю доску на смоляной слой, вновь коснитесь краевъ той и другой доски концами пальцевъ и подымите верхнюю: она дастъ вамъ новую искру при приближеніи сустава пальца.

Опытъ можно повторить сколько угодно разъ, не имѣя надобности прибѣгать къ новому натиранію смолянаго слоя. Можно даже оставить снарядъ на цѣлый день и даже на много дней, не опасаясь чтобъ онъ потерялъ силу.“

Вольта такъ говоритъ о дѣйствіи своего электрофора большихъ размѣровъ (около двухъ футовъ въ діаметрѣ): „Дѣйствіе снаряда удивительно. Вообразите что я нерѣдко извлекаю изъ него искры въ десять или двѣнадцать толщинъ пальца и даже болѣе. Онѣ въ высшей степени красивы. Представьте себѣ тонкія воспламененныя стрѣлы царя боговъ, какъ ихъ изображаютъ живописцы и поэты. Для этого я электризую снарядъ (смоляной слой) до насыщенія, и поднявъ щитъ, подношу къ нему конецъ пальца или кольцо ключа: выскакиваетъ или длинная тонкая искра, какъ я сказалъ, или рядъ искръ съ трещаніемъ, или наконецъ очень длинная кисть, сопровождаемая легкимъ свистомъ... Не думайте чтобы для полученія этихъ удивительныхъ дѣйствій требовалась погода особенно благопріятная для электрическихъ опытовъ. Они обнаруживались почти въ полной силѣ въ послѣдніе туманные и дождливые дни: требовалась одна предосторожность—вытирать снурки держащіе щитъ“.

Одинъ изъ самыхъ большихъ электрофоровъ когда-либо дѣланныхъ есть электрофоръ исполненный въ 1777 году для Петербургской Академіи Наукъ, русскимъ механикомъ Кулибинымъ. Дѣйствіе снаряда, имѣвшаго 9 футовъ длины, 4½ ширины, и на который пошло 180 фунтовъ смолы, 80 сургучу, было изучено академикомъ Крафтомъ. Опыты однажды были произведены во дворцѣ, въ Царскомъ Селѣ, въ присутствіи императрицы.

Теорія снаряда основывается на дѣйствіи чрезъ вліяніе. Когда щитъ положенъ на смолу, наэлектризованную въ толщѣ ея верхняго слоя, онъ представляетъ собою проводникъ приближенный къ наэлектризованному тѣлу, но отдѣленный отъ него непроводящимъ слоемъ (этотъ слой образуютъ воздухъ и самый верхній слой смолы, освободившійся отъ электричества въ пунктахъ непосредственнаго прикосновенія со щитомъ). Въ щитѣ (фиг. 487) происходитъ разложеніе электричествъ. Одноименное чрезъ прикосновеніе руки уводится въ землю. Разноименное удерживается притяженіемъ электричества смолы. Оно освобождается когда щитъ поднятъ. *)

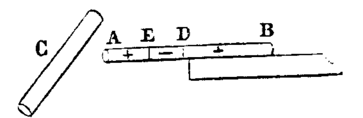
*) Явленія на которыхъ основывается дѣйствіе электрофора

Главная особенность снаряда—въ способности долгое время сохранять разъ возбужденное электрическое напряженіе. Въ этомъ отношеніи существенное значеніе имѣетъ присутствіе щита съ одной стороны, нижней доски или *формы* съ другой. Какъ свидѣтельствуетъ опытъ смоляной слой, получившій чрезъ натираніе или чрезъ удары мѣхомъ отрицательное электричество въ верхнемъ слоѣ, самъ собою (чрезъ дѣйствіе вліянія въ самой толщѣ смолы, въ особенности въ присутствіи формы) электризуется положительно въ нижнемъ слоѣ. Щитъ и форма охраняютъ то и другое электричество отъ разсѣянія.

Германскій ученый Лихтенбергъ, производя опыты съ электрофоромъ, замѣтилъ (1777) любопытныя явленія. Онъ приготовлялъ большой электрофоръ; комната была наполнена смоляною пылью, образовавшеюся отъ полировки смоляной поверхности электрофора. Лихтенбергъ замѣтилъ что пыль, садясь на непокрытую щитомъ смоляную поверхность, сохранившую слѣдъ наэлектризованія, располагалась разнообразными фигурами: звѣздочками, дугами съ выходящими лучами, вѣтвями и т. д. Пылинки, очевидно, приставали къ наэлектризованнымъ мѣстамъ. Чтобъ обнаружить явленіе въ рѣзкой формѣ, онъ касался смоляной поверхности шарикомъ сильно заряженной лейденской банки и посыпалъ мѣсто мельчайшею пылью (напримѣръ, канифоли), стряхивая излишки. Въ случаѣ положительнаго заряда получается солнцеподобная фигура съ лучами. Если же банка заряжена отрицательно, то круглая фигура безъ лучей. Явленіе, повидимому, обусловливается движеніемъ частицъ въ воздушномъ слоѣ надъ наэлектризованнымъ мѣстомъ изолятора. Заставляя воду или иную жидкость чрезъ трубку съ тонкимъ отверстіемъ вытекать на поверхность той же жидкости или втягивая чрезъ тонкое отверстіе жидкость внутрь трубки, получаютъ на поверхности жидкости струи, имѣющія нѣкоторую аналогію съ Лихтенберговыми фигурами.

были уже наблюдаемы Вильке, но изобрѣтеніе электрофора какъ снаряда дѣйствующаго въ качествѣ электрической машины принадлежитъ Вольтѣ. Смоляною поверхностью съ налагаемымъ на нее щитомъ Вильке пользовался, между прочимъ, для для оправданія основнаго начала дѣйствія чрезъ вліяніе. Для этого онъ бралъ двѣ металлическихъ доски, соединенныхъ шелковыми нитями, такъ что одна находилась надъ другою, и если на шелковыхъ снуркахъ держать верхнюю, то нижняя будетъ висѣть параллельно первой на нѣкоторомъ отъ нея разстояніи. Наэлектризовавъ смоляную поверхность, Вильке клалъ на нее такой двойной щитъ, такъ что металлическія доски были непосредственно одна на другой. Поднявъ щитъ за снурки, причемъ доски раздѣлялись, онъ находилъ верхнюю наэлектризованною отрицательно, нижнюю положительно. Если по наложеніи щита, къ нему касались рукой, то при поднятіи обѣ доски оказывались положительными.

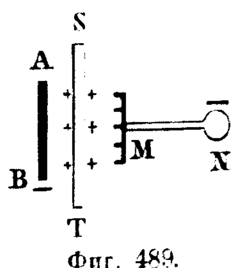
§ 341. Дѣйствіе вліянія въ непроводникахъ. Двойное вліяніе. Чрезъ вліяніе электризуются не одни проводящія тѣла. Непроводники также испытываютъ дѣйствіе вліянія, съ тою разницей что разложенныя электричества не имѣютъ въ нихъ свободы передвиженія; почему процессъ происходитъ съ медленностію, и непроводникъ нельзя разсматривать какъ одно цѣлое тотчасъ пріобрѣтающее электрическую полярность чрезъ вліяніе наэлектризованнаго тѣла. Впрочемъ яснаго представленія о явленіяхъ вліянія въ непроводникахъ мы еще не имѣемъ. Эпинусъ обнаружилъ дѣйствіе вліянія въ длинной стеклянной трубкѣ положенной на столѣ (фиг. 488) такъ что одинъ



Фиг. 488.

конецъ ея на нѣсколько футовъ выдавался со стола. Приблизивъ наэлектризованную трубку C, онъ не нашелъ въ длинной трубкѣ признаковъ электричества; но „когда потеръ нѣсколько разъ трубкой C конецъ A, то сообщилъ ему на протяженіи 4 или 5 пальцевъ положительное электричество. Тогда на слѣдующей части, на протяженіи около 2 пальцевъ обнаружилось отрицательное электричество, а далѣе между D и B опять слабое, но явственное положительное электричество." Электричества были противоположны съ первымъ случаемъ, когда конецъ A былъ потертъ наэлектризованною палочкой сѣры. Такимъ образомъ сообщенное концу ея электричество, дѣйствуя чрезъ вліяніе, возбуждаетъ въ сосѣдней части противоположное электричество, отталкивая одноименное въ болѣе отдаленныя.

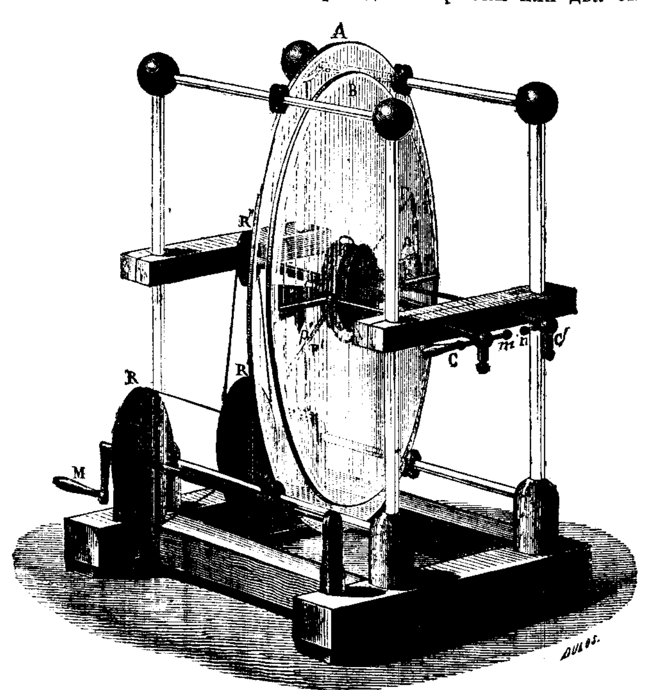
Если вліянію наэлектризованнаго тѣла подвергаются одновременно—непроводникъ и помѣщенный за нимъ проводникъ, снабженный остріями, то обнаруживается явленіе которое берлинскій профессоръ Риссъ именуетъ *двойнымъ вліяніемъ*. Пусть, напримѣръ, непроводникъ есть стеклянный дискъ ST (фиг 489) помѣщенный между наэлектризованнымъ отрицательно тѣломъ AB и проводникомъ съ остріями MN. Разложеніе электричества произойдетъ какъ въ дискѣ такъ и въ проводникѣ. Дискъ на сторонѣ обращенной къ AB будетъ слабо наэлектризованъ положительнымъ электричествомъ. Другая поверхность диска,



Фиг. 489.

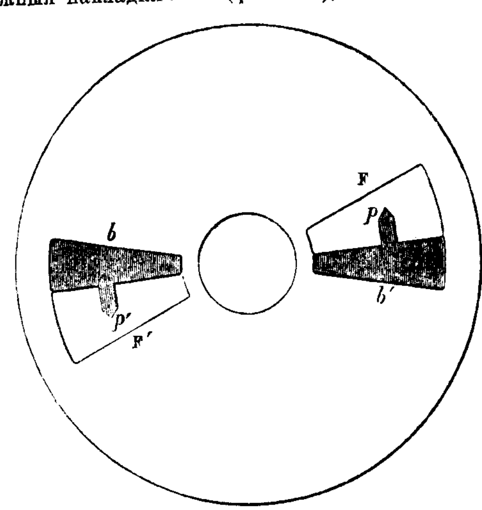
еслибъ явленіе происходило по закону простаго вліянія, должна бы быть наэлектризована отрицательно. Но такъ какъ проводникъ MN также испытываетъ вліяніе, и притомъ значительно сильнѣйшее чѣмъ непроводникъ, то притянутое къ остріямъ положительное электричество сообщится диску и покроетъ его значительнымъ слоемъ положительнаго электричества. Такимъ образомъ стеклянный дискъ съ обѣихъ сторонъ будетъ наэлектризованъ положительно, и притомъ главнымъ образомъ на сторонѣ обращенной къ остріямъ. Кондукторъ на концѣ N обнаружитъ отрицательное напряженіе.

§ 342. Электрическая машина Гольтца. На явленіи двойнаго вліянія основывается дѣйствіе электрической машины изобрѣтенной германскимъ ученымъ Гольтцемъ въ 1862 году. Машина Гольтца (фиг. 490) состоитъ изъ тонкаго стекляннаго круга вращающагося предъ другимъ неподвижнымъ стекляннымъ кругомъ, имѣющимъ на концахъ своего горизонтальнаго діаметра двѣ вырѣзки или два окна.



Фиг. 490.

На одномъ изъ краевъ каждой вырѣзки наклеены небольшія бумажныя накладки b и b' (фиг. 491), оканчивающіяся острі-



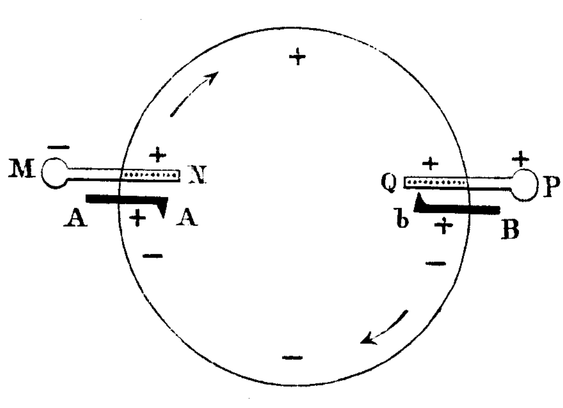
Фиг. 491.

ями, p и p' направленными въ противоположныя стороны; такъ что если остріе одной накладки смотритъ вверхъ, остріе другой направлено внизъ. Противъ накладокъ, съ другой стороны вращающагося диска, находятся металлическіе гребни на изолированныхъ кондукторахъ. Тупые концы кондукторовъ соединяются съ разрядникомъ, помощію котораго извлекаются искры. Чтобъ увеличить напряженность искръ, къ машинѣ присоединяется конденсаторъ, въ формѣ двухъ небольшихъ лейденскихъ банокъ, которыхъ внутреннія обкладки сообщены съ однимъ кондукторомъ, машины, наружныя съ другимъ. Такимъ образомъ электричества отъ кондукторовъ разряжаются чрезъ разрядникъ скопившись предварительно въ конденсаторѣ. Чтобы привести машину въ дѣйствіе, одной изъ накладокъ сообщаютъ слабое электрическое напряженіе, коснувшись ея напримѣръ дощечкой твердаго каучука, наэлектризованнаго нѣсколькими ударами мѣха. Затѣмъ приводятъ въ движеніе вращающійся дискъ, замкнувъ разрядникъ. На остріяхъ замѣчается шипѣніе, наблюдатель чувствуетъ что ему нѣсколько труднѣе вращать, чѣмъ когда машина не дѣйствуетъ *). Тогда, раздвинувъ вѣтви разрядника, получаютъ

*) Важное явленіе свидѣтельствующее что дѣйствіе машины есть случай перехода механической работы въ электричество.

сильныя искры, свидѣтельствующія что кондукторы сильно наэлектризованы противоположными электричествами. Если снять конденсаторъ, то разрядъ принимаетъ форму шипящей кисти свѣта. Если провести проволоки отъ кондукторовъ къ внутренней и внѣшней обкладкамъ лейденской банки или батареи, то банка или батарея быстро заряжаются, значительно быстрѣе чѣмъ отъ обыкновенныхъ машинъ такого же размѣра. Можно также произвести свѣтъ въ разрѣженномъ воздухѣ или газахъ, химическія дѣйствія и т. д.

Теорія снаряда состоитъ, по объясненію берлинскаго профессора Рисса, въ слѣдующемъ. Вращающійся дискъ, проходя между наэлектризованною накладкой и остріями кондуктора, испытываетъ явленіе двойнаго вліянія и электризуется (фиг. 492) съ



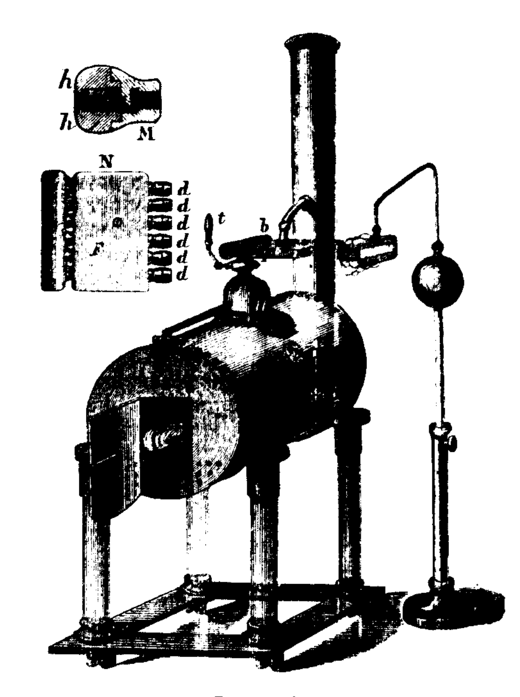
Фиг. 492.

обѣихъ сторонъ положительнымъ электричествомъ, если обкладка наэлектризована отрицательно. Когда дискъ совершитъ полуоборотъ, вся его верхняя часть будетъ такимъ образомъ положительно наэлектризована. Но когда наэлектризованная часть войдетъ въ промежутокъ между второю накладкой и вторымъ кондукторомъ, то остріе накладки и острія кондуктора снимутъ, такъ сказать, электричество съ диска. Вторая накладка получитъ положительный зарядъ. Потому дѣйствіе не ограничится удаленіемъ положительнаго электричества съ диска, а онъ тотчасъ же, испытывая вновь двойное вліяніе, наэлектризуется съ обѣихъ сторонъ отрицательнымъ электричествомъ. Такимъ образомъ послѣ цѣлаго оборота верхняя половина диска будетъ наэлектризована положительно, нижняя отрицательно. Такъ будетъ продолжаться во все время опыта: въ каждый моментъ двѣ половины стекла,—та которая выше и та которя ниже горизонтальнаго діаметра, соединяющаго накладки,—представляютъ собою источники противоположнаго электричества, сообщаемаго какъ кондукторамъ, такъ и накладкамъ. Электричества гонимыя въ кондукторы соединяются чрезъ разрядникъ. Электричества сообщаемыя накладкамъ постепенно усиливаютъ ихъ электрическое напряженіе. Дѣйствіе машины усиливается болѣе и болѣе, достигая нѣкотораго предѣла. Тогда, раздвинувъ концы разрядника, можно получать искры.

Стеклянный неподвижный дискъ служитъ къ тому чтобъ уменьшить потерю чрезъ воздухъ электричества вращающагося диска. Вырѣзки около мѣста гдѣ обкладки, напротивъ, служатъ къ тому чтобы сообщеніе электричества было свободно.

§ 343. Гидро-электрическая машина Армстронга. Въ 1840 году, на одномъ заводѣ близь Ньюкестля въ Англіи, надсмотрщикъ паровой машины былъ изумленъ когда однажды, держа случайно руку въ струѣ пара, съ силою выходившей изъ трещины въ замазкѣ предохранительнаго клапана котла, и коснувшись другою рычага клапана, съ цѣлью регулировать обремененіе, замѣтилъ яркую искру, вылетѣвшую между рукою и рычагомъ и получилъ сотрясеніе въ рукахъ. Извѣстный инженеръ Армстронгъ, получивъ извѣстіе объ этомъ фактѣ, изучилъ оный и пришелъ къ заключенію что онъ происходилъ отъ электричества развивавшагося когда паръ съ треніемъ выходилъ чрезъ трещину. Паръ оказался пріобрѣтающимъ положительное электричество. Чтобы повторить опытъ въ большихъ размѣрахъ, Армстронгъ распорядился поднять локомотивъ съ рельсовъ и поставить его на изолирующія подставки. Каждая подставка состояла изъ двухъ кусковъ просмоленаго дерева, раздѣленныхъ слоемъ смолы съ оберточною бумагой. Вода въ котлѣ была доведена до кипѣнія. Пока паръ оставался заключеннымъ, котелъ не обнаруживалъ признаковъ электричества, но какъ только стали паръ выпускать, котелъ сильно наэлектризовался отрицательнымъ электричествомъ. Искры были, правда, не длиннѣе дюйма, но очень широки и блестящи; ихъ дѣйствіе было сходно съ дѣйствіемъ обыкновенной лейденской банки. Фарадей, въ свою очередь, занимался изученіемъ эктричества развивающагося отъ тренія струи выходящаго пара и пришелъ къ заключенію что при опытахъ этого рода „все электричество происходитъ отъ тренія увлекаемыхъ паромъ мелкихъ водяныхъ частицъ о твердыя стѣнки канала, совершенно какъ при обыкновенныхъ опытахъ съ треніемъ.. При этомъ вода должна быть чистая.. При введеніи (въ снарядъ) дистиллированной воды электричество развивалось въ значительномъ количествѣ, но когда въ воду брошенъ былъ небольшой кристалъ сѣрнокислаго кали или немного поваренной соли, развитіе электричества прекращалось. Употребляя обыкновенную воду какою снабженъ Лондонъ, не получили дѣйствія.“

На основаніи изученнаго имъ явленія Армстронгъ устроилъ сильную *гидро-электрическую машину*. Фиг. 493 даетъ поня-



Фиг. 493.

тіе о подобныхъ машинахъ небольшой модели. Паръ образующійся въ котлѣ, изолированномъ помощію стеклянныхъ ножекъ, выходитъ чрезъ рядъ отверстій, въ которыя вставлены деревянныя трубочки съ изогнутымъ каналомъ (онѣ изображены отдѣльно въ верхней части чертежа, причемъ одна *M* представлена въ сѣченіи и въ большемъ размѣрѣ). Отъ значительнаго тренія въ трубочкахъ развивается электричество, и выходящій паръ оказывается сильно наэлектризованнымъ. Онъ сообщаетъ электричество остріямъ кондуктора.

Машина устроенная въ 1849 году для Политехническаго Института въ Лондонѣ состояла изъ цилиндрическаго котла въ 7 футовъ длиною около и $3^1/_2$ въ діаметрѣ. Снарядъ стоялъ на толстыхъ стеклянныхъ ножкахъ, искру давалъ до 22 дюймовъ длиною, заряжалъ въ нѣсколько секундъ большую лейденскую батарею, разлагалъ воду и вообще производилъ химическія дѣйствія значительно сильнѣе чѣмъ обыкновенныя машины самыхъ большихъ размѣровъ.

III. Ученіе объ электричествѣ отъ прикосновенія разнородныхъ тѣлъ. Вольтовъ столбъ или гальваническая батарея.

§ 344. Открытіе содроганія лягушечьей лапки отъ дѣйствія электричества. Основный опытъ Гальвани. Въ 1791 году появилось въ Болоніи сочиненіе доктора Гальвани *) „De viribus electricitatis in motu musculari“, въ которомъ описывались въ высшей степени замѣчательные опыты. Первый изъ нихъ состоитъ въ слѣдующемъ. Препарировавъ лягушку какъ показано на фиг. 494 на стр. 578 (съ лапокъ снята кожа и при нихъ оставлены два нерва и нѣсколько позвонковъ, откуда эти нервы исходятъ), „я положилъ ее, говоритъ Гальвани, безъ особой цѣли, на столъ, гдѣ стояла электрическая машина... Когда одинъ изъ моихъ слушателей слегка прикоснулся нерва концомъ ножа, лапка содрогнулась какъ бы отъ сильной конвульсіи. Другой изъ присутствовавшихъ замѣтилъ что это случалось только въ то время когда изъ кондуктора машины извлекалась искра.“ Изучая это любопытное явленіе, Гальвани убѣдился что условіе при которомъ лапка содрагается заключается въ томъ чтобы, находясь въ сосѣдствѣ наэлектризованнаго тѣла, изъ котораго извлекается искра, „нервъ былъ въ то же время въ прикосновеніи съ проводящимъ тѣломъ“ (эту роль въ опытѣ играли ножъ и державшій его наблюдатель).

*) Гальвани, профессоръ анатоміи въ Болоньи, родился въ 1737 году. Въ 1790 году, отказавшись дать присягу новообразовавшейся Цизальпійской республикѣ, потерялъ мѣсто и жилъ въ весьма стѣснительныхъ обстоятельствахъ. Умеръ въ 1798. Упомянутое сочиненіе есть мемуаръ помѣщенный въ изданіи мѣстнаго ученаго общества.

Гальвани не далъ, впрочемъ, настоящаго объясненія опыта, представляющаго случай дѣйствія электричества чрезъ вліяніе, а именно случай такъ-называемаго *обратнаго удара*. Нервъ вмѣстѣ съ проводникомъ, соединяющимъ его съ землей, электризуется чрезъ вліяніе кондуктора машины. Какъ скоро изъ кондуктора извлекается искра и онъ разряжается, дѣйствіе вліянія тотчасъ прекращается, и оттолкнутое изъ лапки въ землю электричество, одноименное съ тѣмъ какое въ кондукторѣ, стремительно возвращается, соединяясь съ находящимся въ лапкѣ и производя дѣйствіе на нервъ какъ всякій электрическій разрядъ *).

Заинтересованный новымъ наблюденіемъ Гальвани пожелалъ узнать не производитъ ли атмосферное электричество такое же дѣйствіе какъ разрядъ кондуктора. Для этого нервъ лапки былъ приведенъ помощію проволоки въ сообщеніе съ изолированнымъ желѣзнымъ шестомъ, выставленнымъ на крышу; другая проволока шла отъ лапки въ землю (въ воду колодца). Не только во время молніи, но и вообще когда „близко проходили грозовыя облака", нерѣдко замѣчались содраганія. Наконецъ, замѣтивъ что иногда лапки лягушки, заготовленныя для опытовъ и висѣвшія на желѣзномъ заборѣ сада помощію воткнутыхъ въ позвоночный столбъ желѣзныхъ крючковъ, обнаруживали иногда характеристическія содраганія, Гальвани приписалъ и ихъ перемѣнамъ атмосфернаго электричества и пожелалъ обнаружить нѣтъ ли дѣйствія при ясномъ небѣ. Много дней, въ различные часы наблюдалъ онъ нарочно повѣшенную на заборѣ лапку, прижималъ по временамъ крючокъ къ периламъ. *Дѣйствіе иногда наблюдалось*, но не было замѣтно никакой правильности. Гальвани тѣмъ не менѣе былъ склоненъ приписать явленіе атмосферному электричеству. „Такъ легко, замѣчаетъ онъ, обманываемъ мы себя при опытахъ: какъ часто думаемъ что дѣйствительно видѣли и нашли то чтó желаемъ видѣть и найти." Но скоро оказалось что замѣченныя содраганія не зависятъ отъ атмосфернаго электричества и представляютъ собою фактъ принадлежащій къ новой, неизслѣдованной еще области явленій. „Когда я перенесъ, говоритъ Гальвани, лягушку въ комнату, положилъ на желѣзной дощечкѣ и прикоснулся къ желѣзу воткнутымъ въ позвоночный столбъ крючкомъ,—обнаружились тѣ же движенія, тѣ же содроганія. Я пробовалъ опытъ съ разными металлами, въ разные часы дня, въ разныхъ мѣстахъ: результатъ былъ одинъ и тотъ же... Подобнымъ образомъ когда я одною рукой держалъ крючокъ воткнутый въ позвоночникъ, трогая лапками края подставленной серебряной чашечки, а другою касался стѣнокъ той же чашечки помощію какого-нибудь металлическаго тѣла,—животное приходило въ сильное содроганіе." Повторяя опытъ съ своимъ знакомымъ, Гальвани далъ ему держать крючокъ, а самъ коснулся чашечки: содроганій не было; явленіе возобновилось какъ скоро наблюдатели взялись за руки, такъ что образовали „родъ электрической цѣпи".

*) Въ большихъ размѣрахъ явленіе обратнаго удара неоднократно наблюдалось во время грозы. Бывали случаи громоваго пораженія людей и животныхъ находившихся въ нѣкоторомъ разстояніи отъ того мѣста гдѣ непосредственно ударяла молнія. Пораженія эти объясняются стремительнымъ возвращеніемъ изъ земли электричества, оттолкнутаго было изъ поражаемаго существа дѣйствіемъ грозоваго облака, прекратившемся когда облако разрядилось чрезъ иныя тѣла. Явленіе объяснено лордомъ Магономъ (1779).

Наконецъ, въ простѣйшей формѣ, какъ производится и нынѣ, Гальвани произвелъ свой знаменитый опытъ взявъ металлическую дугу и касаясь (фиг. 494) однимъ ея концемъ нерва, другимъ мускула лапки. Въ моментъ замыканія и прерыванія такой цѣпи лапка содрагается. Опытъ особенно рѣзокъ если металлическая дуга состоитъ изъ двухъ металловъ, напримѣръ,

цинка и мѣди. Дуга изъ одного металла хотя нерѣдко и производитъ содраганія, но значительно слабѣйшія и лишь на особенно свѣжихъ и чувствительныхъ препаратахъ. Чтобъ объяснить свой опытъ, Гальвани допустилъ что лапка лягушки есть какъ бы естественная лейденская банка. Нервъ и мускулъ соотвѣтствуютъ внутренней и внѣшней обкладкѣ банки. Металлическая дуга, или иной проводникъ образующій между ними сообщеніе, играетъ роль разрядника. Почему разрядникъ долженъ быть изъ разнородныхъ металловъ, — теорія Гальвани не давала удовлетворительнаго объясненія. Вольта показалъ что воззрѣніе Гальвани ошибочно и открылъ истинную причину содраганія лапки въ случаѣ металлическаго проводника, соединяющаго нервъ съ мускуломъ.

Фиг. 494.

§ 345. Повтореніе опытовъ Гальвани различными учеными. „Волненіе какое произвело въ мірѣ физиковъ, физіологовъ и врачей появленіе *Комментарія* Гальвани можно, говоритъ Дю-Буа Реймонъ (профессоръ въ Берлинѣ, знаменитый электро-физіологическими изслѣдованіями), сравнить только съ тѣмъ какое въ эту эпоху (1791) поднялось на политическомъ горизонтѣ Европы. Можно сказать, гдѣ только были лягушки и можно было достать два куска разнородныхъ металловъ, каждый хотѣлъ собственными глазами убѣдиться въ удивительномъ оживленіи отрѣзаннаго члена. Физіологи думали что имъ удалось во очію уловить ихъ сонъ о жизненной силѣ; врачамъ казалось что нѣтъ уже невозможнаго исцѣленія.“ Опытъ Гальвани повторялся повсюду: изъ Калькуты писали объ опытахъ надъ бенгальскими пресмыкающимися съ сильно развитыми мускульною и нервною системами. Наиболѣе впечатлѣнія и наиболѣе плодовитыхъ изысканій опытъ Гальвани возбудилъ въ странѣ гдѣ былъ произведенъ. На него направилъ свою геніальную способность къ опытному изученію природы Вольта и создалъ новую отрасль физики. „Признаюсь, писалъ онъ, я съ невѣріемъ и самою малою надеждой на успѣхъ приступилъ къ первымъ опы-

тамъ: такъ невѣроятны казались мнѣ эти опыты, такъ далеки отъ всего что̀ намъ доселѣ извѣстно объ электричествѣ. . Не стыжусь просить изобрѣтателя простить мнѣ это невѣріе и это упорство... Нынѣ я обратился; я былъ очевидцемъ, самъ производилъ чудное дѣйствіе и отъ невѣрія перешелъ можетъ-быть къ фанатизму.“

Въ Германіи Гренъ (издатель извѣстнаго физическаго журнала), вмѣстѣ съ Форстеромъ, Клюгелемъ, Рейлемъ, Веберомъ, спѣшитъ повторить опыты Гальвани и на страницахъ своего изданія слѣдитъ за всѣми новыми открытіями въ области гальванизма. Сочиненія Гальвани и Вольты переводятся на нѣмецкій языкъ, и въ Германіи возникаетъ своя обширная литература новаго предмета, появляются цѣлыя книги. Письма Вольты къ англійскимъ ученымъ показываютъ съ какимъ интересомъ новые опыты были приняты въ Англіи. Наименѣе движенія произвели они во Франціи. Редакторъ *Журнала физики* перевелъ кое-что въ своемъ изданіи; италіанскій докторъ Валли (1792) повторилъ опыты (въ лабораторіи Фуркруа) предъ академическою коммиссіей, состоявшею изъ Леруа, Викъ д'Азира и Куломба. Но этимъ почти все и ограничилось. Политическая буря, гремѣвшая въ странѣ, заглушала интересы науки и знанія.

§ 346. Изслѣдованія Вольты. Открытіе электричества отъ прикосновенія разнородныхъ тѣлъ. Повторивъ опыты Гальвани и убѣдившись въ ихъ справедливости, „я рѣшился, говоритъ Вольта, изслѣдовать ихъ подробно не только съ качественной, но съ количественной стороны... Что̀ можно сдѣлать хорошаго, особенно въ физикѣ, если не сводить все къ мѣрѣ и степени. Я нашелъ что очень слабаго электричества достаточно чтобы произвести не только малыя движенія и конвульсіи, но сильные скачки и содраганія всѣхъ членовъ, особенно ногъ. Неимовѣрно слабое электричество производитъ такое дѣйствіе на лапки приготовленныя по способу Гальвани... Электрическая сила не могущая дать малѣйшей искры, не оказывающая дѣйствія на чувствительнѣйшіе Беннетовы электроскопы, производитъ сильнѣйшія содраганія въ лапкахъ. Приготовленная по способу Гальвани лягушка есть чувствительнѣйшій электрометръ.“ Обнаруживъ такимъ образомъ замѣчательную чувствительность лапки лягушки для электрическихъ разрядовъ, Вольта

перешелъ къ вопросу о томъ откуда берется электричество дѣйствующее въ опытѣ Гальвани. Допущеніе Гальвани что лапка есть естественная лейденская банка не оправдалось, такъ какъ оказалось что содраганія можно возбудить, не соединяя электрическимъ проводникомъ мускула съ первомъ, а дѣйствуя только на нервъ,—разряжая, напримѣръ, помощію двухъ проводниковъ, касающихся нерва въ двухъ точкахъ, разстоящихъ на нѣсколько линій, лейденскую банку самымъ слабымъ образомъ заряженную. Такимъ образомъ, если, обнаживъ и изолировавъ нервъ лапки, обернуть его въ двухъ близкихъ пунктахъ металлическими листочками,—всего лучше изъ разнородныхъ металловъ,—и потомъ соединить такія обкладки металлическою дугой, то лапки обнаружатъ сильныя содраганія во всемъ членѣ, хотя и нѣтъ непосредственнаго къ нему прикосновенія. Вольта заключилъ что вообще въ опытѣ Гальвани лапка играетъ роль электроскопа, электричество же раздражающее нервъ имѣетъ свой источникъ не въ самой лапкѣ, а въ тѣхъ разнородныхъ проводникахъ помощію которыхъ приводятся въ сообщеніе мускулъ съ нервомъ или два пункта нерва. Отсюда идея о возбужденіи электричества помощію простаго *прикосновенія* рязнородныхъ проводниковъ. „Можно ли, спрашиваетъ Вольта, электричество(дѣйствующее въ опытѣ Гальвани) считать принадлежащимъ самому органу и первоначальнымъ? Не вѣроятнѣе ли во много разъ что органы служатъ только проводниками, и суть очень чувствительные электрометры, дѣйствуютъ же собственно металлы; не вѣроятнѣе ли, именно, что въ мѣстахъ прикосновенія металловъ электрической жидкости дается импульсъ, и они суть не простые проводники, но *двигатели* или *возбудители* электричества. Что̀ говорю я вѣроятнѣе? Вполнѣ очевидно что дѣйствіе зависитъ

отъ металловъ и ихъ разнаго строенія, ибо для удачи опыта необходимо чтобы металлы были разнородны. Вмѣсто того чтобы говорить *животное электричество*, мы съ неменьшимъ правомъ можемъ сказать *металлическое электричество*. Не возражайте что иногда получаются движенія препарата Гальвани когда для соединенія частей служатъ *одинакіе* металлы, серебро и серебро, олово и олово, желѣзо и желѣзо. Явленіе обнаруживается,—и то не всегда,—въ первыя минуты, пока наилучше препарированное животное имѣетъ сильную возбудительность, такъ что чувствительно къ малѣйшему дѣйствію. Но можно ли утверждать что употребляемые при семъ металлы вполнѣ одинаковы. Они таковы по имени, а не по сущности; случайныя свойства, каковы твердость, мягкость, гладкость и глянецъ поверхности, теплота и проч. могутъ по отношенію къ электрическому дѣйствію, а именно по отношенію къ способности приводить электричество въ движеніе въ мѣстѣ прикосновенія съ жидкими частями, быть вполнѣ достаточными причинами различія.“ Въ этомъ прикосновеніи металловъ съ жидкостями Вольта видѣлъ первоначально главный источникъ электрическаго возбужденія, но потомъ склонился къ заключенію что это дѣйствіе значительно слабѣе чѣмъ дѣйствіе прикосновенія разнородныхъ металловъ между собою.

Какъ подтвержденіе своей теоріи Вольта указалъ слѣдующій опытъ (подобный опытъ былъ уже описанъ германскимъ ученымъ Зульцеромъ *), въ 1762 году). Онъ бралъ два металлическихъ кружочка, одинъ изъ чистаго, хорошо отполированнаго олова, другой изъ серебра и, прикоснувшись однимъ къ концу языка, другимъ къ верхней его поверхности, приводилъ кружочки свободными концами въ

*) Въ сочиненіи *Теорія удовольствія.*

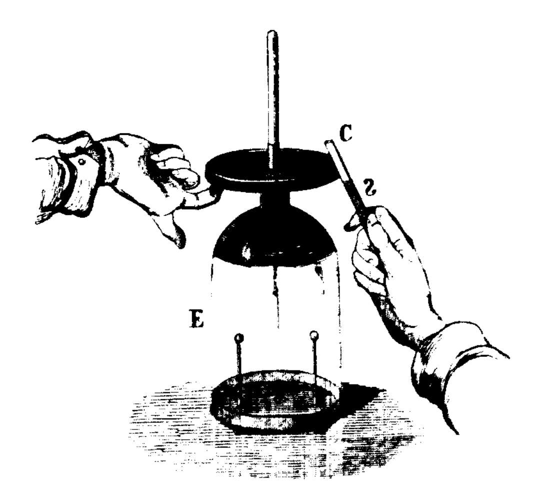
прикосновеніе. Языкъ тотчасъ чувствовалъ на кончикѣ кислый вкусъ. Опытъ производится еще удобнѣе если опустить языкъ въ сосудъ съ водою, въ которомъ виситъ пластинка олова или цинка и, держа мокрою рукой серебряную бляху, коснуться ею пластинки: кончикъ языка почувствуетъ рѣзкій кислый вкусъ. Несомнѣнно, замѣчаетъ Вольта, что явленіе происходитъ отъ тока электричества, ибо то же ощущеніе получается если кончикъ языка поднести къ наэлектризованному кондуктору машины, когда электричество стекаетъ кистью съ острія. Если перемѣстить металлы, то или вовсе не получается вкуса или онъ чувствуется ѣдкій и жгучій какъ отъ щелочи. „Весьма замѣчательно, прибавляетъ Вольта, что вкусъ продолжается все время пока олово и серебро находятся въ прикосновеніи и даже нѣсколько усиливается. Это доказываетъ что переходъ электрической матеріи съ одного мѣста на другое совершается непрерывно“; другими словами, что въ кругѣ составленномъ изъ металловъ и влажныхъ частей организма происходитъ постоянное движеніе электричества, проходитъ, какъ говорится, *электрическій токъ.*

Вольта видоизмѣнилъ опытъ еще въ слѣдующую любопытную форму. „Четверо или нѣсколько человѣкъ изолированныхъ,—для чего достаточно чтобъ они стояли ногами на каменномъ полу, если онъ сухъ,—приводятся въ проводящее соединеніе, причемъ одинъ пальцемъ касается кончика языка сосѣда, этотъ же своимъ пальцемъ глазнаго яблока слѣдующаго; двое другихъ держатъ мокрыми руками, одинъ ноги, другой позвоночникъ препарированной лягушки. Первый въ рядѣ беретъ во влажную руку цинковую пластинку, послѣдній же серебряную и приводятъ ихъ въ прикосновеніе. Тотчасъ тотъ котораго касается своимъ пальцемъ держащій въ другой рукѣ цинкъ почувствуетъ кислый вкусъ; тотъ до чьего глаза касается палецъ сосѣда замѣтитъ какъ бы свѣтъ; лягушка придетъ въ содраганіе.“

Для полнаго утвержденія теоріи Вольты недоставало прямаго доказательства, помощію электроскопа, что два прикасающіеся металла или металлъ касаю-

щійся жидкости, взаимно электризуются. Наконецъ, послѣ многихъ попытокъ, Вольтѣ удалось сдѣлать такой прямой опытъ въ 1795 году.

§ 347. Обнаруженіе электричества отъ прикосновенія помощію опытовъ съ электроскопомъ *). Вольта говоритъ: „Привожу въ прикосновеніе кружокъ серебра, напримѣръ монету, и кружокъ цинка, которые налагаю отчасти одинъ на другой, соединяя вмѣстѣ помощію винта, гвоздя или спая, безъ посредства какого-нибудь посторонняго вещества... Взявъ цинкъ пальцами, прилагаю на нѣкоторое время серебро къ верхнему диску конденсатора, котораго нижній дискъ сообщаю съ землею. Удаляю затѣмъ двойную пластинку серебра и цинка и поднимаю верхній дискъ, въ которомъ принятое отъ серебра электричество скопилось, благодаря конденсаціи произведенной дѣйствіемъ нижняго диска. Поднятый дискъ обнаруживаетъ отрицательное электричество, которое дѣлаю видимымъ, приближая дискъ къ моему электрометру съ соломенками и прикасаясь къ его шарику.“ Опытъ Вольты въ нѣсколько измѣненномъ видѣ изображенъ на фиг. 495. Двойная пластинка представлена состо-



Фиг. 495.

*) Опытъ удался въ первый разъ въ 1795 году и первоначально былъ произведенъ помощію электроскопа снабженнаго особымъ тройнымъ конденсаторомъ и называемаго дупликаторомъ Никольсона.

ящею изъ двухъ палочекъ, одной S изъ цинка, другой C изъ серебра или мѣди; конденсаторъ навинченъ на электроскопъ, а не находится отдѣльно какъ у Вольты. При такомъ расположеніи, при поднятіи верхняго диска, электроскопъ обнаружитъ электричество, которое было связано на нижнемъ дискѣ электричествомъ верхняго полученнымъ, отъ металла. Электроскопъ покажетъ положительное электричество; слѣдовательно металлъ сообщилъ отрицательное. Если вмѣсто того чтобы касаться диска конденсатора серебромъ или мѣдью, коснуться его цинкомъ, держа въ рукѣ серебряную или мѣдную часть двойной палочки, то электроскопъ не обнаружитъ электричества. Но если въ томъ мѣстѣ гдѣ цинкъ касается диска конденсатора положить мокрую бумажку, то электричество обнаружит- и притомъ противоположное съ первымъ опытомъ: верхній дискъ чрезъ бумажку принимаетъ отъ цинка положительное электричество.

Описанные опыты легко объясняются, если, вмѣстѣ съ Вольтою, допустимъ что вслѣдствіе прикосновенія куска цинка съ кускомъ серебра или мѣди, оба прикасающіеся тѣла электризуются и притомъ цинкъ положительно, серебро или мѣдь отрицательно; далѣе, что прикосновеніе серебра съ мѣдью и цинка съ водою или совсѣмъ не сопровождается электризованіемъ, или сопровождается гораздо слабѣйшимъ чѣмъ прикосновеніе цинка съ тѣмъ или другимъ изъ названныхъ металловъ. Въ первомъ опытѣ верхній дискъ непосредственно принимаетъ отрицательное электричество серебра или мѣди; во второмъ положительное цинка сообщается ему сквозь бумажку. Еслибы бумажки не было, то цинкъ имѣлъ бы два металлическія прикосновенія, оказывающія противоположное дѣйствіе. Тогда какъ металлъ (серебро или мѣдь) который наблюдатель держитъ въ рукѣ стремится разлить на цинкъ и на дискъ конденсатора положительное электричество,—металлъ изъ котораго состоитъ этотъ дискъ (предполагаемъ мѣдь) стремится потокъ того же рода электричества направить на цинкъ и соединенные съ нимъ проводники. Два противоположныя дѣйствія взаимно уничтожаются: дискъ остается не наэлектризованнымъ.

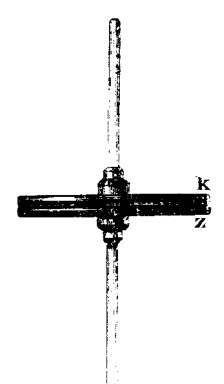
Но не трудно видѣть что опыты могутъ быть истолкованы и иначе, если допустить что источникъ электричества есть прикосновеніе цинка съ жидкостію, причемъ цинкъ получаетъ отрицательное, жидкость положительное электричество; прикосновеніе же металловъ между собою не сопровождается замѣтнымъ наэлектризованіемъ. Въ такомъ случаѣ дискъ въ первомъ опытѣ получаетъ отрицательное электричество отъ цинка, наэлектризовавшагося вслѣдствіе прикосновенія къ пальцамъ наблюдателя, всегда болѣе или менѣе влажнымъ. Во второмъ опытѣ дискъ получаетъ положительное электричество

отъ смоченной бумажки касающейся цинка, электризующагося отрицательно.

Наконецъ можно допустить что оба источника (прикосновеніе металловъ между собою и прикосновеніе металловъ съ жидкостями) имѣютъ мѣсто, и опыты, въ описанныхъ случаяхъ, объясняются ихъ совокупнымъ и согласнымъ дѣйствіемъ. Такого мнѣнія держался и Вольта, принимавшій только что взаимодѣйствіе металловъ гораздо сильнѣе чѣмъ взаимодѣйствіе металловъ съ жидкостями.

Слѣдующіе опыты, въ которыхъ упомянутые источники электрическаго возбужденія дѣйствуютъ отдѣльно, а не смѣшанно, какъ въ описанныхъ, дѣйствительно свидѣтельствуютъ что какъ прикосновеніе металловъ между собою, такъ и прикосновеніе ихъ съ жидкостями сопровождается возбужденіемъ электричества.

§ 348. Опыты Вольты надъ электричествомъ отъ прикосновенія двухъ металловъ. „Я привожу, говоритъ Вольта, во взаимное прикосновеніе дощечки разныхъ металловъ, къ которымъ придѣланы изолирующія ручки (фиг. 496), служащія для того чтобы раздѣлять дощечки и подносить ихъ къ электроскопу. Двѣ дощечки, одна серебряная, другая цинковая, ровныя и отполированныя,—что независимо отъ электрической движущей силы, дѣлаетъ ихъ способными служить въ качествѣ конденсатора,—будучи приложены одна къ другой, обнаруживаютъ при раздѣленіи положительное электричество на цинкѣ, отрицательное на серебрѣ. Такъ какъ явленіе имѣетъ мѣсто безъ всякаго посредства какой-либо влаги, то какой иной причинѣ приписать перемѣщеніе электрической жидкости, какъ не прикосновенію металловъ различной природы?“

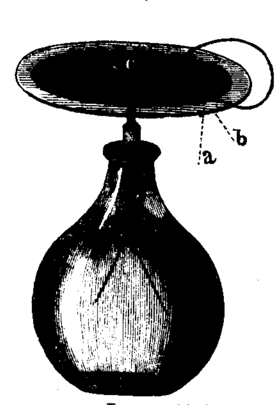


Фиг. 496.

Германскій ученый Фехнеръ (маститый профессоръ въ Лейпцигѣ) внимательно изучилъ и подтвердилъ это явленіе, навинчивая одинъ изъ прикасающихся дисковъ непосредственно на

электроскопъ и накладывая на него другой помощію изолирующей ручки. Электроскопъ при наложеніи не обнаруживаетъ признаковъ электричества, но когда верхній дискъ поднятъ, то электричество, дотолѣ связанное, становится свободнымъ, и электроскопъ показываетъ положительное электризованіе, если навинченный дискъ изъ цинка, поднимаемый изъ серебра или мѣди.

§ 349. Электричество отъ прикосновенія металловъ съ жидкостями. Явленіе весьма ясно обнаруживается помощію слѣдущщей формы опыта, принадлежащей германскому ученому Буффу (1842). На электроскопъ (фиг. 497) навинчивается металлическій дискъ *a*, дюйма въ три въ діаметрѣ, на него кладется тонкій стеклянный дискъ нѣсколько большей величины, такъ что края его выступаютъ; помощію кисточки на стекло налагагается слой испытуемой жидкости, напримѣръ воды (или кладется дискъ изъ пропускной бумаги пропитанной жидкостію). Помощію проволоки изъ того самаго металла изъ какого сдѣланъ дискъ, подносимой на изолирующей ручкѣ, приводятъ нижній дискъ въ соединеніе въ верхнею жидкостью. Удаливъ проволоку, не замѣчаютъ признаковъ электричества (электричества развившіяся на дискѣ и въ слоѣ жидкости связаны взаимнымъ притяженіемъ, какъ въ конденсаторѣ). Но если поднять стеклянный дискъ съ покрывающимъ его слоемъ жидкости, то листки расходятся. Если дискъ изъ цинку, а жидкость вода, то дискъ оказывается получившимъ отрицательное электричество: вода, слѣдовательно, наэлектризовалась положительно.



Фиг. 497.

По измѣреніямъ германскаго ученаго Кольрауша и другихъ, электрическое напряженіе обнаруживающееся при прикосновеніи металловъ съ жидкостями не уступаетъ развивающемуся въ случаѣ прикосновенія металловъ, а иногда превышаетъ его.

Нѣкоторые ученые, считая болѣе естественнымъ развитіе электричества въ случаѣ прикосновенія тѣлъ имѣющихъ стремленіе химически дѣйствовать одно на другое, какъ металлы и жидкости, чѣмъ тѣлъ химически индифферентныхъ, какъ два металла, полагаютъ что электричество обнаруживающееся въ случаѣ прикосновенія металловъ имѣетъ свой источникъ въ прикосновеніи металла съ влажнымъ воздухомъ, облекающимъ металлъ слоемъ болѣе или менѣе сгущеннымъ при его поверхности. Газовый слой въ случаѣ цинка пріобрѣтаетъ положительное электрическое напряженіе, тогда какъ самый цинкъ электризуется отрицательно. Электричества связаны и не обнаруживаютъ дѣйствія. Накладывая цинковый дискъ на мѣдный (электризующійся отъ облекающаго его слоя значительно менѣе цинка), чрезъ точки прикосновенія сообщаемъ отрицательное электричество отъ цинка мѣди. При раздѣленіи дисковъ, вслѣдствіе уменьшившагося количества отрицательнаго электричества цинка, положительное электричество слоя становится свободнымъ, и цинкъ кажется наэлектризованнымъ положительно. *)

§ 350. Собственно животное электричество. Электрическія рыбы. Гальвани, возражая противъ объясненій Вольты, сдѣлалъ (1793) важный опытъ, свидѣтельствующій что содраганія лапки лягушки могутъ быть произведены безъ всякаго посредства металловъ, чрезъ простое прикосновеніе нерва къ мускулу. „Перережемъ, говоритъ онъ, нервы около самаго мѣста выхода ихъ изъ позвоночнаго канала, и не погружая ихъ въ какую-либо жидкость, не подвергая вообще никакому измѣняющему вліянію, помѣстимъ препаратъ такъ чтобъ они свободно висѣли отъ края тазика на который положенъ препаратъ. Приведемъ затѣмъ ихъ въ прикосновеніе съ внѣшнею поверхностію бедра,—или приподымая ихъ помощію непроводника и позволяя затѣмъ падать, или осторожно приводя тѣмъ же способомъ до прикосновенія съ мускуломъ, насколько можно, въ одномъ пунктѣ. Тотчасъ обнаруживаются содраганія въ лапкахъ... Обыкновенно разъ до четырехъ и даже больше можно получить одинъ за другимъ подобныя содраганія если лягушка сильна и только-что препарирована; впрочемъ явленіе постояннѣе на лягушкахъ болѣе чѣмъ средней величины, по причинѣ большей длины нервовъ. Опытъ удается, хотя и не столь прекрасно, если загнуть одинъ только нервъ до прикосновенія съ соотвѣтствующей „ножкой, которая, понятно, одна и содрагается

*) Прибавимъ что, согласно опытамъ англійскаго ученаго Грова (1843), подтвержденнымъ другимъ аглійскимъ ученымъ Гассіотомъ, одно тѣсное сближеніе разнородныхъ металлическихъ дисковъ, безъ непосредственнаго прикосновенія, сопровождается уже электризованіемъ.

въ такомъ случаѣ.“ Вольта видѣлъ и въ этомъ опытѣ случай возбужденія электричества чрезъ прикосновеніе разнородныхъ тѣлъ, принимая въ соображеніе что,—„какъ было имъ на сто способовъ доказано,—самой малой разницы въ какомъ-либо пунктѣ поверхности, совершенно незамѣтной разнородности приводимыхъ въ прикосновеніе мокрыхъ проводниковъ достаточно чтобы возбудить и привести въ движеніе электрическую жидкость въ такой мѣрѣ, что она дѣйствительно можетъ потрясти отлично препарированную и особенно воспріимчивую къ раздраженію лягушку.“ Дальнѣйшія изслѣдованія ученыхъ (Нобили въ 1827 году, затѣмъ Маттеучи, Дюбуа-Реймона въ сороковыхъ годахъ) показали что жизненныя явленія дѣйствительно сопровождаются возбужденіемъ электричества и что въ мускулахъ и нервахъ существуютъ электрическіе токи, обнаруживаемые и изучаемые помощію гальванометра, о чемъ ниже.

Внутреннее возбужденіе электричества въ организмѣ у нѣкоторыхъ существъ, имѣющихъ особые *электрическіе органы*, достигаетъ значительной силы, такъ что они способны давать, при надлежащемъ прикосновеніи къ нимъ, удары подобные ударамъ лейденкой батареи изъ многихъ банокъ не сильно заряженныхъ. Таковы *электрическія рыбы*: гимнотъ или суринамскій угорь *(gymnotus)*, очень распространенный въ Ореноко, электрическій скатъ *(raja torpedo)* въ Средиземномъ морѣ, электрическій сомъ *(silurus electricus)* въ водахъ Нила и въ Сенегалѣ. Уже Мушенбрекъ сравнивалъ удары даваемые скатомъ съ ударами лейденской банки. Но англійскій ученый Уельшъ (Walsh), членъ Лондонскаго Королевскаго Общества и членъ парламента, первый доказалъ прямыми опытами электрическій характеръ дѣйствій обнаруживаемыхъ упомянутыми животными. „Живой скатъ (такъ описываетъ опыты Уельша секретарь Академіи въ Ла-Рошелѣ и меръ этого города въ письмѣ въ *Gazette de France* осенью 1772 года) былъ положенъ на столъ. Вокругъ стола стояло пять человѣкъ на изолированныхъ подставкахъ. Двѣ мѣдныя проволоки, каждая 13 футовъ длиною висѣли на шелковыхъ снуркахъ прикрѣпленныхъ къ потолку. Одна изъ проволокъ однимъ концомъ оставалась на мокрой салфеткѣ, на которой лежала рыба; другимъ же концомъ опущена была въ сосудъ съ водой, поставленный на второмъ столѣ, гдѣ стояли еще четыре такихъ же наполненныхъ водою сосуда. Первый наблюдатель опускалъ палецъ одной руки въ сосудъ гдѣ погруженъ конецъ проволоки; палецъ другой руки во второй сосудъ; второй наблюдатель опускалъ палецъ одной руки въ этотъ второй сосудъ, палецъ другой въ третій и такъ далѣе, такъ что всѣ пять особъ были въ сообщеніи между собою помощію воды сосудовъ. Въ послѣдній сосудъ пущенъ былъ конецъ второй проволоки, другимъ же ея концемъ г. Уельшъ прикоснулся снизу ската: всѣ пять особъ почувствовали сотрясеніе, ничѣмъ кромѣ градуса силы не отличавшееся отъ удара лейденской банки. Г. Уельшъ, не бывшій въ цѣпи, не получилъ

удара... Дѣйствіе ската сообщается чрезъ тѣ же среды какъ дѣйствіе электрической жидкости. Тѣла пресѣкающія дѣйствіе послѣдней пресѣкаютъ одинаковымъ образомъ и дѣйствіе перваго. Дѣйствія производимыя скатомъ во всемъ сходны съ несильнымъ электричествомъ.“ Электрическій органъ ската расположенъ у головы; чтобы получить ударъ (зависящій впрочемъ отъ воли животнаго), надо коснуться съ одной стороны спины, съ другой груди.

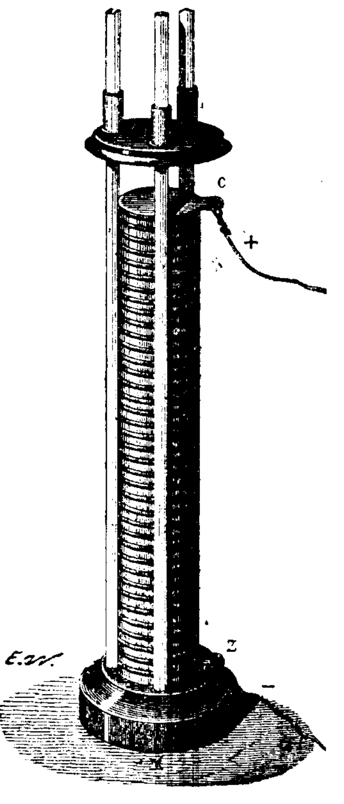
Любопытные опыты надъ гимнотомъ были произведены Фарадеемъ въ 1838 году. Политехническій Институтъ въ Лондонѣ выписалъ изъ Америки гимнота для привлеченія посѣтителей въ свои галлереи. Директоры учрежденія, для пользы науки, предоставили его въ распоряженіе Фарадея, которому удалось, безъ вреда для животнаго, извлечь изъ этой живой электрической машины всѣ обыкновенныя электрическія явленія — искру, магнитныя и химическія дѣйствія. „Гимнотъ *) былъ слѣпой. Онъ кружился въ своемъ чану медленнымъ, правильнымъ, непрерывнымъ, машинальнымъ и какъ бы равнодушнымъ движеніемъ. Но какая однако бдительность и ловкость! Бросили живую рыбу въ центръ чана, возможно далеко отъ угря; едва касалась она поверхности воды, какъ была поражена невидимымъ ударомъ и плавала недвижно на спинѣ. Гимнотъ между тѣмъ прерывалъ свою прогулку вокругъ, приближался къ мѣсту происшествія, открывалъ ротъ и сильнымъ движеніемъ производилъ потокъ, привлекавшій къ нему добычу, которой онъ не видалъ и которую проглатывалъ, головою впередъ, какъ пилюлю. Затѣмъ неторопливо продолжалъ прерванную прогулку.“ О значеніи животнаго электричества вообще Фарадей, по свидѣтельству Дюма, говорилъ такъ: „Живыя существа производятъ теплоту, тождественную, конечно, съ теплотой нашихъ очаговъ, почему же не могутъ они производить электричество равнымъ образомъ тождественное съ электричествомъ нашихъ машинъ? Но если теплота, производимая во время жизни и необходимая для жизни, не есть самая жизнь, почему же электричество будетъ жизнію? Какъ теплота, какъ химическія дѣйствія, электричество только орудіе жизни, не болѣе.“

§ 351. Вольтовъ столбъ или гальваническая батарея.

Проникшись мыслію что жидкость въ его опытахъ служитъ только проводникомъ и не имѣетъ значенія возбудителя, Вольта, дабы усилить дѣйствіе на электроскопъ, сталъ „вмѣсто одной пары цинка и серебра или цинка и мѣди брать двѣ, три, четыре такихъ

*) Слова секретаря Парижской Академіи Наукъ Дюма въ похвальномъ словѣ Фарадею.

пары.“ Чтобы заставить ихъ дѣйствовать совокупно, онъ остановился на такомъ пріемѣ: „клалъ серебряную монету, на нее кружокъ цинка, поверхъ его кружокъ картона, сукна или другаго скважистаго тѣла смоченнаго водою; повторялъ далѣе наложеніе въ томъ же порядкѣ и увеличивая число слоевъ, устроилъ столбъ или колонну большей или меньшей высоты“... „Это былъ, замѣчаетъ Вольта, великій шагъ, который привелъ меня, въ концѣ 1799 года, къ устройству новаго аппарата, который я назвалъ *электро-двигателемъ* (electro - moteur), который поразилъ удивленіемъ всѣхъ физиковъ, доставивъ мнѣ величайшее удовлетвореніе, не будучи впрочемъ для меня неожиданностію, такъ какъ сдѣланное мною открытіе (замѣтнаго на электроскопѣ электричества отъ прикосновенія) заранѣе гарантировало успѣхъ опыта.“ Столбъ (фиг. 498) не только обнаружилъ электрическое напряженіе на концахъ пропорціонально числу паръ (для этого Вольта сообщалъ вершину столба съ конденсаторомъ, а основаніе соединялъ прикосновеніемъ рукъ или инымъ способомъ съ землею), но и представилъ другія, въ



Фиг. 498.

высшей степени замѣчательныя явленія. Такъ, если наблюдатель, приложивъ нѣсколько влажные пальцы одной руки къ одному концу столба, прикасался пальцами другой къ другому его концу, то онъ чувствовалъ сотрясеніе подобное производимому лейденскою банкой, очень слабо заряженной, или утомленнымъ электрическимъ скатомъ.“ Если провести проволоки отъ концовъ столба, прикасаться ими одна къ другой и опять раздѣлять, то обнаруживается искра. Опытъ показалъ далѣе что дѣйствіе снаряда значительно усиливается если, вмѣсто чистой воды, употребляли, въ качествѣ жидкости смачивающей скважистые кружки, соляной растворъ или воду съ прибавленіемъ сѣрной или иной кислоты. „Такія жидкости, замѣчаетъ Вольта, не увеличиваютъ собственно электрической силы, но облегчаютъ движеніе электрической жидкости, давая ей болѣе свободный проходъ, такъ какъ онѣ значительно лучшіе проводники чѣмъ чистая вода.“

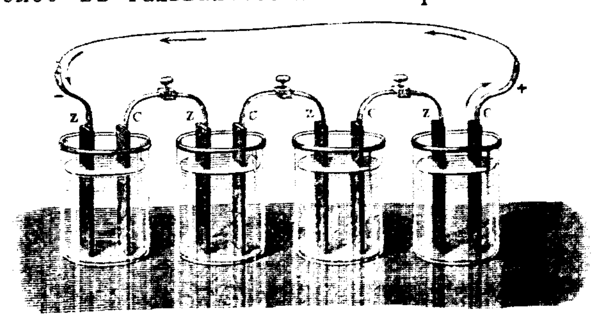
Сообщая о своемъ открытіи Лондонскому Королевскому Обществу (въ письмѣ на имя его президента), Вольта (1800) въ такихъ выраженіяхъ описываетъ замѣченныя имъ явленія: „Послѣ долгаго молчанія, въ которомъ не смѣю оправдываться, имѣю удовольствіе сообщить вамъ, а чрезъ васъ Королевскому Обществу, нѣсколько поразительныхъ результатовъ достигнутыхъ мною при изслѣдованіи электричества возбуждаемаго простымъ взаимнымъ прикосновеніемъ разнородныхъ металловъ или даже иныхъ разныхъ проводниковъ, или жидкихъ или содержащихъ какую-либо влагу, которой они обязаны своею проводимостью. Главный результатъ, вмѣщающій всѣ другіе, есть построеніе снаряда, сходнаго по своимъ дѣйствіямъ,—т.-е. по своей способности производить содраганіе въ рукахъ,—съ лейденскою банкой или, точнѣе, съ электрическою батареей слабо заряженною, но дѣйствующею непрерывно, въ которой зарядъ послѣ каждаго разряда самъ собою возстановляется; которая, однимъ словомъ, имѣетъ какъ бы неисчерпаемый зарядъ, оказывая постоянное гонящее дѣйствіе на электрическую жидкость; но которая существенно отличается отъ обыкновенной батареи и этимъ постоянствомъ дѣйствія ей свойственнымъ, и тѣмъ еще что вмѣсто того чтобы состоять, какъ обыкновенныя электрическія банки и батареи, изъ одного или многихъ тонкихъ слоевъ изолирующихъ тѣлъ,—единственно почитаемыхъ

электрическими,—обложенныхъ проводниками, или тѣлами называемыми *неэлектрическими*, составленъ единственно изъ проводниковъ, и притомъ выбранныхъ между лучшими; наиболѣе слѣдовательно удаленными, согласно тому какъ всегда думали, отъ электрической природы. Да, снарядъ о которомъ говорю, и это удивитъ васъ безъ сомнѣнія, есть не иное что̀ какъ собраніе хорошихъ проводниковъ разнаго рода, расположенныхъ опредѣленнымъ образомъ. Двадцать, сорокъ, шестьдесятъ кружковъ мѣди или еще лучше серебра, сложенныхъ каждый съ кружкомъ олова или лучше цинка, и такое же число слоевъ воды или какой иной жидкости лучше проводящей чѣмъ вода, какъ напримѣръ соляной растворъ, щелокъ и т. под.; или кусковъ картона, кожи и т. под., хорошо смоченыхъ этими жидкостями; причемъ такіе слои налагаются между каждою парой или соединеніемъ двухъ разнородныхъ металловъ: вотъ все что̀ составляетъ мой новый инструментъ, подражающій, какъ я сказалъ, дѣйствію дѣйствію лейденской банки или батареи,—дающій подобныя сотрясенія какъ и онѣ. Правда, дѣйствіе снаряда относительно силы, стука разряда, его искры и разстоянія на какомъ она происходитъ, значительно слабѣе дѣйствія батареи сильно заряженной и равняется только дѣйствію очень слабо заряженной батареи, имѣющей за то громадную емкость и безконечно превосходящей силу обыкновенныхъ батарей въ томъ отношеніи что не нуждается въ предварительномъ заряженіи помощію посторонняго электричества и можетъ давать сотрясеніе при каждомъ прикосновеніи, надлежащимъ образомъ сдѣланномъ, сколько бы разъ такія прикосновенія ни повторялись.“ Вольта прибавляетъ что по его мнѣнію снарядъ имѣетъ сходство,—болѣе даже чѣмъ съ лейденскою банкой,—съ электрическимъ органомъ электрическаго ската, угря и т. под. и предлагаетъ назвать свой снарядъ *искусственнымъ электрическимъ органомъ*.

Концы Вольтова снаряда, называемаго *Вольтовымъ столбомъ* или *гальваническою батареей*, именуются *полюсами*. При первоначальномъ расположеніи снаряда, т.-е. когда столбъ начинается и оканчивается *двумя* металлическими пластинками, на цинковомъ концѣ обнаруживается *положительное* электричество на концѣ же, гдѣ другой металлъ, мѣдь, серебро и т. под.—*отрицательное*. Если снять по одной пластинкѣ съ концовъ, такъ что столбъ представитъ, напримѣръ, такую послѣдовательность частей: мѣдь, смоченная бумажка, цинкъ; опять мѣдь, бумажка, цинкъ и такъ далѣе до конца, гдѣ поверхъ послѣдней

бумажки будетъ цинкъ,—то полярность концовъ отъ этого *не* измѣнится, и слѣдовательно мѣдный кружокъ будетъ представлять собою *положительный*, цинковый—*отрицательный* полюсъ. Когда полюсы приведены въ соединеніе помощію проводящихъ тѣлъ, то образуется *гальваническій кругъ* или *гальваническая цѣпь*. Электрическое состояніе такой замкнутой цѣпи именуется *токомъ*. Согласно теоріи жидкостей, цѣпь можно разсматривать какъ каналъ, въ которомъ происходитъ движеніе электричествъ: вращающійся потокъ положительнаго электричества и другой, въ обратномъ направленіи идущій потокъ отрицательнаго *). *Направленіе тока* считается въ соединительномъ проводникѣ отъ положительнаго полюса къ отрицательному, а слѣдовательно въ самой батареѣ отъ отрицательнаго къ положительному.

Вольта ввелъ еще другое, болѣе удобное расположеніе своего снаряда, нынѣ исключительно употребляемое въ гальваническихъ батареяхъ. Смоченныя

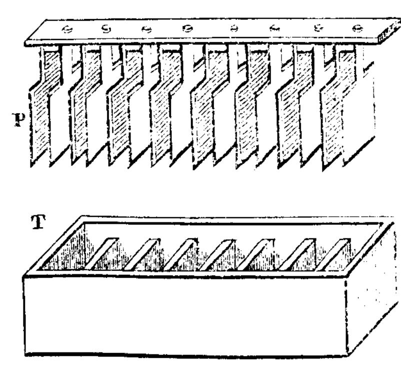


Фиг. 499.

бумажки замѣняются жидкостію налитою въ стаканы, куда погружаются разнородные металлы. Каждый

*) Нѣкоторые ученые разсматриваютъ цѣпь какъ рядъ полярно наэлектризованныхъ частицъ безпрерывно разряжающихся (положительное электричество одной соединяется съ отрицательнымъ второй, положительное второй съ отрицательнымъ третьей и т. д. и вновь полярно заряжающихся.

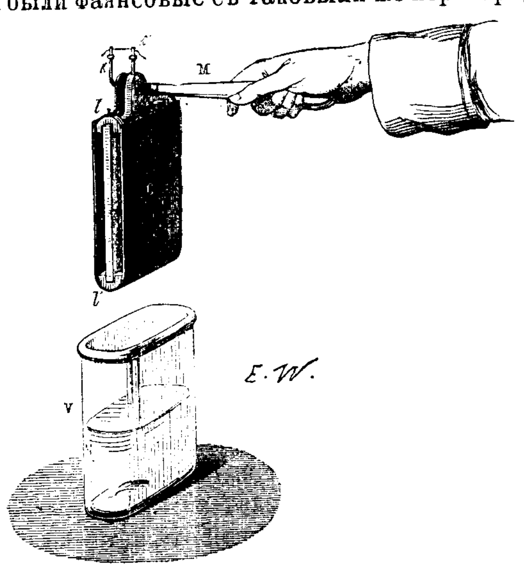
такой стаканъ есть *элементъ* батареи. Соединивъ проволоками разнородные металлы отъ элемента къ элементу (мѣдь, напримѣръ, перваго элемента съ цинкомъ втораго, мѣдь втораго съ цинкомъ третьяго и т. д.), такъ что свободными останутся металлы крайнихъ элементовъ, получимъ гальваническую батарею (фиг. 499), очевидно соотвѣтствующую столбу втораго расположенія. На цинкѣ будетъ *отрицательный*, на мѣди *положительный* полюсъ. Что цинковый полюсъ есть *отрицательный* (хотя цинкъ и именуется электро-положительнымъ металломъ, ибо отъ прикосновенія съ мѣдью, платиной и т. под. пріобрѣтаетъ положительное электричество) полезно держать въ памяти, такъ какъ цинкъ входитъ составною частью во всѣхъ употребительныхъ гальваническихъ элементахъ.



Фиг. 500.

Чтобъ удобнѣе было приводить снарядъ въ дѣйствіе, цинковыя и мѣдныя доски стали прикрѣплять къ одной деревянной перекладинѣ, соединяя ихъ надлежащимъ образомъ и заразъ опуская въ подставленные отдѣльные сосуды или въ общій ящикъ (фиг. 500) раздѣленный перегородками на отдѣльныя камеры, наполняемыя водою съ кислотой. Такъ, напримѣръ, была устроена въ 1808 году огромная батарея изъ 2000

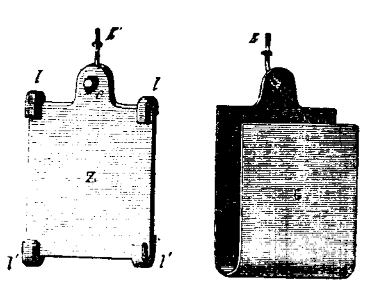
элементовъ въ Лондонскомъ Королевскомъ Институтѣ, по подпискѣ частныхъ жертвователей, послѣ того какъ Деви (1807) помощію баттареи въ 250 элементовъ сдѣлалъ свое знаменитое открытіе новыхъ металловъ. Ящики были фаянсовые съ таковыми же перегородками.



Фиг. 501.

Вульстенъ сдѣлалъ важное усовершенствованіе въ устройствѣ элементовъ, давъ доскамъ цинка и мѣди не одинаковую величину, именно загибая мѣдную доску такъ что она съ обѣихъ сторонъ облекаетъ цинковую и имѣетъ противъ нея двойную поверхность (на фиг. 502 доски представлены въ отдѣльности). Сила тока, получаемаго при соединеніи полюсовъ проводникомъ, чрезъ это значительно увеличивается. Фиг. 501 изображаетъ такой *элементъ Вульстена*. Употребляемая жидкость есть вода съ сѣрною кислотою: одна часть кислоты по 10—15 частей, по объему, воды. Батарея составляется изъ паръ придѣ-

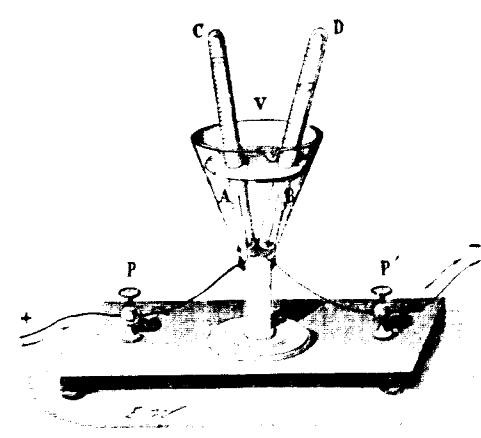
ланныхъ къ общей перекладинѣ подобно тому какъ изображено на фиг. 500.



Фиг. 502.

§ 352. Открытіе химическихъ дѣйствій Вольтова столба. Открытіе химическихъ дѣйствій Вольтова столба было сдѣлано англійскими учеными Карлейлемъ и Никольсономъ въ Лондонѣ вскорѣ послѣ того какъ сдѣлалось извѣстнымъ изобрѣтеніе Вольты. „30 апрѣля (1800) Карлейль приготовилъ Вольтовъ столбъ изъ 17 полукронъ (серебряныхъ монетъ) и равнаго числа цинковыхъ кружковъ и кружковъ бумаги смоченной соленою водой.“ Наблюдатели замкнули столбъ помощію проволоки проведенной отъ нижняго его конца (гдѣ былъ отрицательный полюсъ) къ верхнему концу; чтобы тѣснѣе было сообщеніе съ верхнимъ полюсомъ на верхней пластинкѣ была помѣщена капля воды, куда и опускался конецъ соединительной проволоки. „Карлейль замѣтилъ, пишетъ Никольсонъ, что вокругъ прикасавшейся къ водѣ проволоки сталъ отдѣляться газъ, который, какъ ни мало его было, показался мнѣ имѣющимъ запахъ подобный водороду; проволока была изъ стали. Этотъ и другіе опыты побудили насъ провести гальваническій или электрическій токъ чрезъ двѣ мѣдныя проволоки, концы которыхъ чрезъ пробки, затыкавшія съ двухъ концовъ стеклянную трубочку, около полдюйма шириною, наполненную свѣжею рѣчною водой, были введены внутрь трубочки и разстояли на $1^3/_4$ дюйма одинъ отъ другаго. Одна

изъ проволокъ была приведена въ прикосновеніе съ верхнимъ, другая съ нижнимъ кружкомъ столба состоявшаго изъ 36 полукронъ и такого же числа цинковыхъ и бумажныхъ кружочковъ. Тотчасъ въ трубкѣ отъ конца нижней, соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ проволоки поднялся тонкій потокъ маленькихъ газовыхъ пузырьковъ, между тѣмъ какъ кончикъ верхней проволоки началъ тускнуть, сдѣлался прежде темно-оранжевымъ, затѣмъ чернымъ.“ Черезъ два съ половиною часа было собрано небольшое количество газа (съ небольшимъ кубическій центиметръ), оказавшагося водородомъ. Очевидно, произошло разложеніе воды на кислородъ и водородъ, изъ которыхъ водородъ одинъ могъ быть собранъ, ибо кислородъ соединился съ мѣдью, окисливъ кончики проволоки у которой онъ образовался. „Не мало удивило насъ, прибавляетъ Никольсонъ что водородъ выдѣлялся на одномъ концѣ, тогда



Фиг. 503.

какъ кислородъ на другомъ, отстоявшемъ отъ перваго на два почти дюйма.“ Чтобы получить оба газа

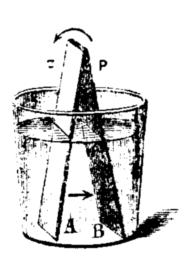
въ отдѣльности, Никольсонъ замѣнилъ мѣдныя проволоки платиновыми, расположивъ снарядъ приблизительно какъ онъ употребляется и нынѣ и какъ изображенъ на фиг. 503. Подобные снаряды, сдѣлавъ ихъ измѣрительными, Фарадей наименовалъ *вольтаметрами*. Согласно составу воды объемъ выдѣляющагося водорода вдвое болѣе объема получаемаго кислорода. Въ снарядѣ изображенномъ на фиг. 503 газы собираются въ отдѣльныхъ трубкахъ, но можно собирать ихъ и въ одной прикрывъ ею заразъ обѣ платиновыя проволоки или пластинки. Прибавимъ что разложеніе чистой воды требуетъ батареи большой силы, но если прибавить къ водѣ сѣрной кислоты, то достаточно немногихъ элементовъ дабы произвести дѣйствіе.

Дѣйствіемъ тока разлагаются не только вода, но и многія другія тѣла, напримѣръ, металлическія соли. Если опустить соединенныя съ полюсами батареи платиновыя пластинки въ растворъ синяго мѣднаго купороса, то на пластинкѣ соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ станетъ освобождаться мѣдь, покрывая пластинку краснымъ слоемъ; на положительной обнаружатся пузырьки кислороднаго газа. При разложеніи уксусокислаго свинца, на отрицательномъ полюсѣ выдѣляется этотъ металлъ, и если платиновый конецъ имѣетъ форму проволоки, то осѣданіе частицъ выдѣляемаго свинца происходитъ древовидно. За процессомъ удобно слѣдить, если производить разложеніе въ маленькомъ сосудѣ съ параллельными стеклянными стѣнками и, освѣтивъ сосудъ электрическимъ свѣтомъ, наблюдать явленіе въ проложеніи, въ большомъ видѣ, на экранѣ.

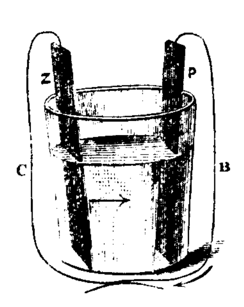
Прибавимъ что процессъ разложенія дѣйствіемъ электрическаго тока называется *электролизомъ*, разлагаемое тѣло—*электролитомъ*, опускаемыя въ жидкость металлическіе концы—*электродами* *).

*) Термины эти введены Фарадеемъ. Электродъ, чрезъ который входитъ токъ (то-есть который соединенъ съ положительнымъ полюсомъ) называется *анодъ*, чрезъ который выходитъ—*катодъ*.

§ 353. Химическія дѣйствія внутри самой батареи. Внутри самой гальванической батереи происходитъ рядъ химическихъ явленій, имѣющихъ существенное значеніе для дѣйствія снаряда. Составимъ гальваническій элементъ, опустивъ въ сосудъ съ разжиженною сѣрною кислотой пластинку цинка и пластинку платины. Если цинкъ химически чистъ или если онъ амальгамированъ на поверхности (чрезъ погруженіе въ ртуть или чрезъ натираніе ртутью, которая его легко смачиваетъ), то пока пластинки не касаются гдѣ либо между собою—никакого дѣйствія не замѣчается *). Но если привести въ прикосновеніе концы ихъ (фиг. 504)



Фиг. 504.



Фиг. 505.

*) Кусокъ обыкновеннаго продажнаго цинка, будучи опущенъ въ разжиженную сѣрную кислоту, тотчасъ начинаетъ разлагать воду и отдѣлять водородъ. Явленіе объясняютъ тѣмъ что въ толщѣ нечистаго цинка находятся частицы другихъ металловъ (желѣза), почему при погруженіи въ жидкость образуются мѣстные замкнутые токи, порождающіе разложеніе воды и раствореніе цинка. Почему амальгамированный цинкъ пріобрѣтаетъ свойства химически чистаго и даже предпочтительнѣе послѣдняго, ибо по замыканіи дѣйствуетъ съ большею энергіей, растворяясь быстрѣе,—еще не достаточно объяснено. Свойства амальгамированнаго цинка открыты Деви (1826).

(тѣ которые внѣ жидкости или тѣ которые погружены въ нее) или если соединить ихъ помощію проволоки (фиг. 505), то тотчасъ обнаружится появленіе пузырьковъ водороднаго газа, поднимающихся отъ платины, и постепенное окисленіе и раствореніе цинка. Пока продолжается прикосновеніе, то-есть элементъ *замкнутъ* и въ немъ проходитъ *токъ*, продолжается и химическое дѣйствіе, начинающееся и прекращающееся съ наступленіемъ и прекращеніемъ тока. Раствореніе цинка и выдѣленіе водорода происходятъ и въ гальванической батареѣ имѣющей форму столба, но тамъ оно не столь явственно замѣтно.

§ 354. Общій характеръ химическихъ дѣйствій тока. Теорія Гротхуза. Внимательно наблюдая какъ происходитъ разложеніе дѣйствіемъ тока, не трудно замѣтить что дѣятельность разложенія обнаруживается лишь въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ электроды касаются жидкости; въ пространствѣ же между электродами жидкость, повидимому, не претерпѣваетъ никакихъ измѣненій. Казалось бы что при каждомъ изъ электродовъ должны выдѣлиться оба составные элемента тѣла, на какіе оно разлагается. Между тѣмъ при разложеніи, напримѣръ, воды, на одномъ электродѣ появляется лишь кислородъ, на другомъ лишь водородъ. Даже если одинъ электродъ находится въ одномъ сосудѣ, другой въ другомъ, самые же сосуды соединены между собою сифономъ наполненнымъ водою, — газы получаются отдѣльно: у одного электрода сбирается кислородъ, у другаго водородъ, на всемъ же протяженіи отъ электрода къ электроду, какъ въ сосудахъ, такъ и въ соединительной трубкѣ, ни малѣйшаго перехода газовъ не замѣтно. Куда же дѣвается, напримѣръ, водородъ отдѣлившійся отъ воды при электродѣ гдѣ скопляется кислородъ? Чтобы разъяснить этотъ вопросъ прибѣгаютъ къ теоріи указанной въ 1805 году Гротхузомъ (Grotthuss) *) и нынѣ, въ ея основной мысли, общепринятой. Къ этой теоріи Гротхузъ былъ приведенъ слѣдующимъ размышленіемъ. „Вольтовъ столбъ, замѣчаетъ онъ, обезсмертившій геній его изобрѣтателя, есть какъ бы электрическій магнитъ, котораго каждый элементъ, т.-е. каждая пара кружковъ, имѣетъ своей положительный и отрицательный полюсъ. Разсмотрѣніе этой полярности породило во мнѣ мысль, не устанавливается ли подобная же полярность и среди элементарныхъ частицъ воды, побуждаемыхъ

*) Литовскій уроженецъ, занимался науками (1803 — 1808) за границей. Вернувшись на родину, поселился въ своемъ имѣніи; убилъ себя въ меланхоліи, въ 1822 году.

тѣмъ же электрическимъ дѣятелемъ. Признаюсь это было для меня проблескомъ свѣта... Представимъ себѣ что въ моментъ начинающагося раздѣленія водорода съ кислородомъ въ этихъ двухъ тѣлахъ, — вслѣдствіе ли прикосновенія, вслѣдствіе ли тренія одного о другое,—происходитъ разложеніе ихъ естественнаго электричества, такъ что водородъ пріобрѣтаетъ *положительное электрическое* состояніе, кислородъ—*отрицательное* *). Отсюда слѣдуетъ что полюсъ доставляющій отрицательное электричество (отрицательный электродъ) притянетъ водородъ, отталкивая кислородъ, тогда какъ положительный (электродъ) притянетъ кислородъ, отталкивая водородъ... Представимъ же себѣ нѣкоторое количество, воды составленной изъ кислорода означеннаго знакомъ — и водорода отмѣченнаго знакомъ + (фиг. 506). Какъ скоро установится гальваническій токъ въ

Фиг. 506.

водѣ, электрическая полярность обнаружится въ ея элементарныхъ частицахъ, такъ что онѣ какъ бы будутъ составлять дополненіе дѣйствующаго столба. Всѣ частицы кислорода лежащія на пути тока получатъ стремленіе перенестись на положительный полюсъ (электродъ), тогда какъ всѣ частицы водорода, лежащія на томъ же пути, будутъ стремиться къ отрицательному полюсу. Отсюда слѣдуетъ что какъ скоро частица воды ближайшая къ положительному полюсу отдаетъ свой кислородъ привлекаемый положительною жидкостію этого полюса, ея водородъ тотчасъ вновь окислится, соединяясь съ кислородомъ второй частицы, водородъ который соединяется съ кислородомъ третьей и т. д., и т. д.“. Послѣдняя водородная частица останется свободною при отрицательномъ полюсѣ. Такимъ образомъ на протяженіи между электродами происходитъ рядъ послѣдовательныхъ разложеній и возстановленій частицъ воды; свободные газы выдѣляются лишь при полюсахъ.

§ 355. Общій обзоръ явленій представляемыхъ Вольтовымъ столбомъ. Явленія электрическаго напряженія въ незамкнутомъ столбѣ. Гальваническая батарея представляетъ два рода явленій: 1) электрическое напряже-

*) Нынѣ принимается что электрическая полярность частицъ воды и иныхъ тѣлъ есть постоянное ихъ свойство и не пріобрѣтается только въ моментъ предшествующій разложенію какъ принимаетъ Гротхузъ. Источникъ полярности обыкновенно видятъ въ прикосновеніи разнородныхъ атомовъ.

ніе, обнаруживающееся пока цѣпь не замкнута, и 2) *токъ* или движеніе электричества, наступающее когда цѣпь замкнута, способное, какъ мы видѣли, производить нагрѣваніе, физіологическія и химическія дѣйствія. Электрическое напряженіе есть начальное условіе образованія тока; сила тока опредѣляется энергіею химическихъ процессовъ, происходящихъ въ замкнутой цѣпи. Могутъ быть батареи дающія, когда замкнуты, сильные токи и между тѣмъ обнаруживающія, когда не замкнуты, самое слабое электрическое напряженіе, и иныя, показывающія значительное напряженіе, когда не замкнуты, и весьма слабый токъ, будучи замкнуты.

Главнѣйшія явленія электрическаго напряженія, какія представляетъ *незамкнутый* столбъ или незамкнутая гальваническая батарея, суть слѣдующія: 1) если одинъ конецъ батареи, напримѣръ нижній кружокъ вертикальнаго столба, сообщенъ съ землею, то весь столбъ заряжается однимъ электричествомъ, одноименнымъ съ электричествомъ не соединеннаго съ землею полюса. Его напряженіе возрастаетъ постепенно, начиная отъ полюса сообщеннаго съ землею гдѣ оно равно нулю и до изолированнаго полюса гдѣ оно пропорціонально числу паръ батареи. 2) Если оба конца батареи изолированы, то въ одной половинѣ снаряда, прилегающей къ положительному полюсу, оказывается возрастающее къ концу положительное электричество, въ другой отрицательное. Они раздѣлены полюсомъ безразличія, гдѣ напряженіе равно нулю; напряженіе же при полюсахъ вдвое менѣе чѣмъ въ случаѣ когда полюсъ противоположный съ разсматриваемымъ соединенъ съ землею.

§ 356. Объясненіе явленій электрическаго напряженія незамкнутаго столба изъ началъ теоріи прикосновенія указанныхъ Вольтою. Вольта объяснялъ явленія электрическаго напряженія незамкнутаго столба, принимая гипотезу одной электрической жидкости, и допуская, что если два металла

A и B приведены въ прикосновеніе, то (вслѣдствіе неодинаковаго, какъ поясняютъ новѣйшіе ученые, притяженія частицъ электричества частицами того и другаго изъ этихъ тѣлъ) нѣкоторое количество жидкости переходитъ съ одного на другое; положимъ съ B на A (такъ будетъ, напримѣръ, если B мѣдь, A цинкъ). Вслѣдствіе такого перехода, тѣло принимающее электричество электризуется положительно (избытокъ электричества), отдающее—отрицательно (недостатокъ электричества). Чѣмъ значительнѣе величина тѣла B, отдающаго электричество, тѣмъ значительнѣйшее количество электричества перейдетъ на A. Поэтому электрическое напряженіе A будетъ наибольшее, если B соединено съ землею и слѣдовательно представляетъ собою какъ бы одинъ проводникъ огромныхъ размѣровъ *). Подобнымъ образомъ, чѣмъ значительнѣе размѣры тѣла A, принимающаго электричество, тѣмъ менѣе электричества остается въ отдающемъ, тѣмъ значительнѣе отрицательное наэлектризованіе послѣдняго.

Представимъ себѣ, теперь, что, устроивая столбъ мы кладемъ въ основаніе кружокъ мѣди, и пусть этотъ кружокъ соединенъ съ землею. На него помѣщаемъ кружокъ цинка. Цинкъ получаетъ положительное наэлектризованіе, напряженіе котораго, то-есть толщина электрическаго слоя, въ данномъ случаѣ будетъ тѣмъ болѣе чѣмъ болѣе пріобрѣтенное количество электричества. Означимъ его $+a$. Какъ скоро поверхъ цинка помѣщены кружокъ смоченной папки и на немъ кружокъ мѣди, то эти тѣла, какъ проводники, принимаютъ часть электричества отъ цинка. Но взятое электричество тотчасъ возстановляется отъ мѣди соединенной съ землею, и такъ продолжается пока установится равновѣсіе напряженій: папка и мѣдь пріобрѣтутъ въ соотвѣтствующихъ пунктахъ то же напряженіе $+a$. Положенный поверхъ мѣди новый кружокъ цинка, еслибы между нимъ и мѣдью не было электро-возбудительнаго дѣйствія, пріобрѣлъ бы, какъ проводникъ, то же напряженіе $+a$. Но вслѣдствіе этого дѣйствія цинкъ долженъ имѣть избытокъ электричества сравнительно съ лежащею подъ нимъ мѣдью и потому если на мѣди напряженіе $+a$, то на цинкѣ оно должно быть больше: электричество будетъ продолжать переходить на цинкъ. При этомъ Вольта дѣлаетъ простѣйшее допущеніе, что переходъ продолжается до тѣхъ поръ пока избытокъ будетъ таковъ же какъ еслибы мѣдь не имѣла электрическаго напряженія (какъ при

*) Этимъ обстоятельствомъ объяснялъ Вольта почему опытъ съ электричествомъ прикосновенія производится сравнительно легко въ формѣ указанной въ § 347 (когда цинкъ держится въ рукѣ и слѣдов. соединенъ съ землею), тогда какъ чрезъ прикосновеніе двухъ изолированныхъ кусковъ металловъ онъ не могъ обнаружить наэлектризованія, пока не напалъ на мысль дать кускамъ форму дисковъ, дѣйствующихъ какъ конденсаторъ и въ этомъ качествѣ способныхъ къ принятію бо́льшаго количества электричества.

основаніи столба, гдѣ она соединена съ землею); другими словами, принимается (*законъ Вольты*) что взаимнодѣйствіе чрезъ прикосновеніе требуетъ чтобы разность электрическихъ напряженій прикасающихся тѣлъ была постоянною, будетъ ли напряженіе одного изъ нихъ равно нулю (такъ бываетъ если оно соединено съ землею) или поддерживаться при какой иной величинѣ *). Такъ какъ въ нашемъ случаѣ мѣдь отъ ниже лежащихъ частей пріобрѣтаетъ электричество до тѣхъ поръ пока получаетъ напряженіе $+ a$, то верхній цинкъ долженъ имѣть напряженіе $+ 2a$ (разность $2a-a=a$). Если наложимъ еще совокупность кружковъ папки, мѣди и цинка, то-есть прибавимъ еще пару, то напряженіе на верхнемъ цинкѣ будетъ $+ 3a$. Вообще если число паръ n, то напряженіе на верхнемъ цинкѣ будетъ $+ na$, то-есть, согласно опыту, *пропорціонально числу паръ*.

Вольта, какъ не разъ уже упомянуто, принималъ что возбужденіе электричества въ мѣстахъ прикосновенія металловъ съ жидкостію не замѣтно. Но если и возьмемъ въ разсчетъ электрическое напряженіе обнаруживающееся тамъ гдѣ цинкъ касается мокрой папки, то предыдущія разсужденія тѣмъ не менѣе сохраняютъ силу, и только осложняются тѣмъ обстоятельствомъ что накладываемой на цинкъ папкѣ должно быть приписано напряженіе не a но $a + b$, вслѣдствіе прибавленія электричества отъ взаимнодѣйствія воды и цинка и т. д.

Не трудно также привести разсужденія къ теоріи двухъ жидкостей. Мы должны только говорить не объ избыткѣ и недостаткѣ электричества, а допустить что при прикосновеніи металловъ A и B, вслѣдствіе неравнаго притяженія ихъ частицъ къ частицамъ той и другой электрической жидкости, нѣкоторое количество положительнаго электричества переходитъ съ B на A, тогда какъ нѣкоторое количество (отрицательнаго поступаетъ съ A на B: вмѣсто перехода въ одномъ направленіи, разсматривать переходъ въ двухъ направленіяхъ.

Еслибы мы начали столбъ съ цинковаго кружка, то должны бы (по гипотезѣ одной жидкости) разсуждать такъ: цинкъ, будучи соединенъ съ землею, извлекаетъ изъ мѣди электричество до тѣхъ поръ поръ пока отрицательное напряженіе этой послѣдней сдѣлается $— a$. Когда наложены папка и второй цинкъ, мѣдь заимствуетъ отъ нихъ нѣкоторое количество электричества; отрицательное напряженіе мѣди становится потому не такъ значительно: нижній цинкъ получаетъ возможность извлечь новое количество. Такъ должно продолжаться пока на папкѣ и верхнемъ цинкѣ напряженіе сдѣлается $— a$. Не трудно продолжить разсужденіе. По гипотезѣ двухъ жидкостей

---

*) Такимъ образомъ, допустивъ что разность напряженій должна равняться 10, по закону Вольты, заключаемъ что если на B напряженіе $+ 8$, то на A должно быть $+ 18$ (ибо $18-8=$ 10); если на B напряженіе $- 6$, то на A должно быть $+ 4$ (ибо $4 - (-6) = 10$); если на B напряженіе $- 15$, то на A напряженіе $- 5$ (ибо $- 5 - (-15 = 10)$ и т. д.

ходъ разсужденія одинаковъ, тотъ ли или другой кружокъ вообразимъ внизу.

До сихъ поръ мы преполагали что нижній конецъ столба соединенъ съ землею. Но допустимъ что подставка столба изъ изолирующаго вещества, и кружки налагаются послѣдовательно, будучи, до прикосновенія, ненаэлектризованы и переносимы на изолированныхъ ручкахъ. Если два изолированыхъ кружка, одинъ изъ мѣди другой изъ цинка, приводятся въ прикосновеніе, то цинкъ принимаетъ отъ мѣди положительное электричество, сообщая ей отрицательное наэлектризованіе. При этомъ напряженіе на цинкѣ не можетъ достичь величины $+ a$, какъ въ случаѣ сообщенія мѣди съ землею, когда мѣдь остается въ естественномъ состояніи, то-есть имѣетъ напряженіе равное нулю. Такъ какъ по закону Вольты разность напряженій должна быть постоянно равна a, то назвавъ напряженіе цинка x, напряженіе мѣди y, имѣемъ условіе $x-y=a$. Кромѣ того $x+y=o$, ибо общее количество электричества въ обоихъ кружкахъ осталось то же какое было до прикосновенія, напряженія же при одинаковости формы прикасающихъ частей можно принять пропорціональными количествамъ (считая положительное электричество со знакомъ $+$, отрицательное со знакомъ $-$). Отсюда $x = + \frac{a}{2}$, $y = - \frac{a}{2}$. Наложимъ на первую пару совокупность кружковъ папки, мѣди и цинка; и назовемъ буквою x напряженіе верхняго цинка. Согласно закону Вольты, напряженіе подъ нимъ лежащаго кружка мѣди должно быть $x-a$. Оно не должно отличаться отъ напряженія ниже лежащихъ папки и цинка, такъ какъ, по предположенію, между этими кружками нѣтъ замѣтнаго взаимнодѣйствія и они какъ проводники принимаютъ общее напряженіе; наконецъ напряженіе нижней мѣди должно быть $x-2a$ (дабы имѣть $x-a-(x-2a)=a$, какъ требуетъ законъ Вольты). Условіе что общее количество электричества должно остаться безъ перемѣны выразится тѣмъ что алгебраическая сумма величинъ представляющихъ напряженія на пяти кружкахъ (принимая опять напряженія пропорціональными количествамъ) равна нулю, то-есть $x+3(x-a)+x-2a=5x-5a=0$; Итакъ $x=a$, $x-a=0$, $x-2a=-a$; другими словами, напряженіе среднихъ трехъ кружковъ въ этомъ случаѣ равно нулю, крайніе имѣютъ напряженіе вдвое большее чѣмъ въ случаѣ одной пары (когда оно равнялось $\frac{a}{2}$). Еслибы нижній конецъ былъ соединенъ съ землею, то напряженіе на верхнемъ цинкѣ было бы, какъ знаемъ, $+ 2a$, слѣдовательно вдвое болѣе чѣмъ въ случаѣ изолированнаго столба. Результаты согласные съ опытомъ. Понятно что теорію можно распространить на какое угодно число паръ.

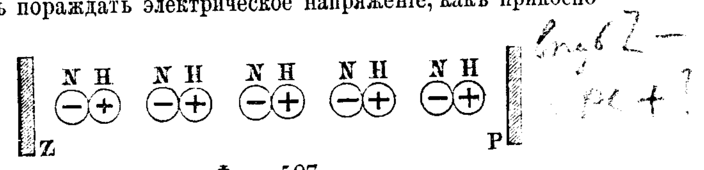
Еслибы столбъ первоначально былъ сложенъ когда одинъ изъ его полюсовъ сообщенъ съ землею и еслибы затѣмъ сообщеніе

было прервано, то распредѣленіе напряженій не можетъ сохраниться въ томъ видѣ какъ было пока столбъ оставался не изолированнымъ. Уже потеря чрезъ воздухъ, болѣе значительная тамъ гдѣ болѣе напряженія, должна измѣнять распредѣленіе электричества и вызвать противоположное напряженіе на полюсѣ гдѣ прежде оно равнялось нулю. Чрезъ нѣкоторое время столбъ придетъ въ состояніе соотвѣтствующее случаю изолированныхъ полюсовъ. Измѣненія напряженія столба при переходѣ отъ одного состоянія къ другому вообще требуютъ тѣмъ значительнѣйшаго времени чѣмъ хуже проводимость частей его составляющихъ.

§ 357. Теорія химическаго происхожденія тока замкнутой гальванической батареи. Если причина электрическаго напряженія вольтова столба есть прикосновеніе разнородныхъ тѣлъ, то источникъ движущагося въ замкнутой цѣпи электричества, производящаго токъ, заключается въ химическихъ дѣйствіяхъ имѣющихъ мѣсто въ батареѣ. Внимательное изученіе явленій тока обнаруживающагося какъ скоро батарея замкнута показываетъ что токъ наступаетъ одновременно съ наступленіемъ химическихъ дѣйствій въ жидкости входящей въ составъ батареи. Когда нѣтъ химическаго дѣйствія нѣтъ и тока. Эту зависимость тока отъ химическихъ перемѣнъ въ батареѣ не трудно усмотрѣть a priori. Очевидно, что еслибы тѣла изъ которыхъ слагается батарея не претерпѣвали никакого измѣненія и дѣйствовали единственно вслѣдствіе того что приведены въ прикосновеніе, то принимая въ соображеніе что токъ порождаетъ теплоту, можетъ разлагать воду и другія тѣла, мы должны бы заключить что имѣемъ машину не потребляющую матеріалъ и обладающую неисчерпаемымъ запасомъ энергіи, то-есть что задача о *perpetuum mobile* разрѣшена.

Чтобы разъяснить какимъ образомъ химическія измѣненія жидкой части элемента обусловливаютъ движеніе электричества, прибѣгаютъ къ представленіямъ съ которыми мы отчасти познакомились говоря о системѣ Гротхуза (§ 354). Обратимся, напримѣръ, къ элементу состоящему изъ химически

чистаго или амальгамированнаго цинка и пластинки платины, опущенныхъ въ воду съ прибавленіемъ сѣрной кислоты. Мы представляемъ себѣ тѣла вообще состоящими изъ малѣйшихъ частицъ, слагающихся въ свою очередь изъ еще болѣе мелкихъ *атомовъ*. Согласно такому общепринятому воззрѣнію, жидкость элемента можемъ разсматривать какъ совокупность маленькихъ группъ атомовъ, причемъ каждая группа или *частица* состоитъ изъ сложенныхъ вмѣстѣ атомовъ водорода, кислорода и сѣры, входящихъ въ составъ воды и сѣрной кислоты. Будемъ разсматривать каждую группу какъ состоящую изъ двухъ частей: водорода H и совокупность остальныхъ атомовъ N (фиг. 507). Допустимъ что прикосновеніе атомовъ можетъ пораждать электрическое напряженіе, какъ прикосно-



Фиг. 507.

веніе разнородныхъ тѣлъ: и пусть водородъ имѣетъ положительное, остальная часть каждой группы отрицательное электрическое напряженіе. Цинкъ имѣетъ значительное химическое сродство съ кислородомъ и стремится съ нимъ соединиться. Вслѣдствіе этого частицы жидкости сосѣднія съ цинкомъ обращаются къ нему тою своею стороной гдѣ кислородъ. Первый рядъ частицъ, принявъ такое правильное расположеніе, побуждаетъ дѣйствіемъ притяженія разнородныхъ электричествъ и слѣдующій рядъ, а этотъ слѣдующій за нимъ и такъ далѣе, расположиться своими водородными половинами въ сторону платины, какъ показано на чертежѣ. Съ другой стороны, цинкъ прикасающійся съ водою электризуется, какъ извѣстно, отрицательно *)

*) Самое происхожденіе отрицательнаго наэлектризованія цинка можетъ быть объяснено химическою гипотезой. Можно допустить что обращенная къ цинку электроотрицательная половина частицъ жидкости электризуетъ его чрезъ вліяніе, возбуждая $+E$ въ частяхъ сосѣднихъ съ жидкостію и отталкивая $-E$ въ отдаленныя. За электризованіемъ чрезъ вліяніе слѣдуетъ соединеніе цинка съ электроотрицательною частію перваго ряда частицъ и вообще описанный процессъ. Но при всякомъ соединеніи электроотрицательной группы съ цинкомъ, съ него уносится нѣкоторое количество $+E$, и процессъ потому длится очень не долго, пока отталкиваніе скопившагося на цинкѣ отрицательнаго электричества уравновѣситъ химическое притяженіе. Нѣкоторое подтвержденіе такого воззрѣнія можно видѣть въ томъ фактѣ, что первое время по погруженіи амальгамированный цинкъ покрывается пузырьками водорода.

и слѣдовательно отталкиваетъ электроотрицательную часть каждой группы. Притяженіе происходящее отъ химическаго сродства уравновѣшивается электрическимъ отталкиваніемъ, и никакого дѣйствія не обнаруживается. Но какъ скоро цинкъ приведенъ въ сообщеніе съ платиной, его отрицательное напряженіе уменьшается вслѣдствіе сообщенія съ проводникомъ, и мало того: цинкъ получаетъ, вслѣдствіе металлическаго прикосновенія, положительное наэлектризованіе. Тотчасъ наступаетъ соединеніе цинка съ электроотрицательною частію сосѣднихъ съ цинкомъ частицъ. Образуется сѣрнокислая окись цинка, растворяющаяся въ водѣ. Выдѣлившіеся атомы водорода перваго ряда частицъ немедленно соединяются съ электроотрицательными частями N втораго ряда, возстановляя группы въ прежнемъ видѣ и выдѣляя водородъ H, соединяющійся съ группами N слѣдующаго ряда *), и такъ далѣе до ряда ближайшаго къ платинѣ. Послѣдній выдѣлившійся водородъ освобождается при платиновомъ электродѣ, принимающемъ положительное электричество и передающемъ его цинку, который вновь разлгаетъ рядъ частицъ и т. д. Происходитъ круговращеніе электричества или *токъ*.

Явленія тока производятся *исключительно* тѣмъ электричествомъ которое приводится въ движеніе химическими перемѣнами. То электричество которое мы обнаруживаемъ на электроскопѣ, приводя металлы въ прикосновеніе, не участвуетъ въ явленіи.

§ 358, Вольтово объясненіе происхожденія тока и его отношеніе къ вышеизложенной химической теоріи. Вольта, видѣвшій въ прикосновеніи разнородныхъ металловъ не только источникъ электрическаго напряженія, но и источникъ самаго тока, и именовавшій прикасающіеся металлы *электродвигателями*, объяснялъ необходимость присутствія жидкихъ проводниковъ на основаніи особаго закона, выведеннаго имъ изъ того важнаго факта что въ замкнутой цѣпи составленной изъ однихъ металловъ не можетъ образоваться токъ или движеніе электричества (*второй законъ Вольты*). Наблюдая знакъ и степень электрическаго напряженія различныхъ металловъ при взаимномъ прикосновеніи, онъ составилъ лѣстницу металловъ: серебро, мѣдь, желѣзо, олово, свинецъ, цинкъ (выше серебра надлежитъ поставить уголь и платину). Въ этой лѣстницѣ каждый предыдущій металлъ электризуется отрицательно, прикасаясь къ какому-либо изъ послѣдующихъ, или, какъ выражается Вольта, въ духѣ теоріи одной жидкости, „первый гонитъ элек-

*) Можно спросить почему выдѣлившійся изъ данной частицы водородъ немедленно вытѣсняетъ водородъ сосѣдней частицы, замѣщая его собою? Это явленіе приводится къ тому общему химическому факту, что-только что выдѣлившіеся атомы особенно жадны къ соединенію (status nascens).

тричество во второй, второй въ третій и т. д.“ Существуетъ, говоритъ онъ далѣе, нѣкоторое опредѣленное отношеніе между металлами... касательно силы съ какою они гонятъ электричество одинъ въ другой. Подъ этимъ отношеніемъ я понимаю, что если напримѣръ серебро гонитъ электричество въ мѣдь съ силою =1, мѣдь въ желѣзо съ силою =2, желѣзо въ олово съ силою =3, послѣднее въ свинецъ съ силою =1, наконецъ свинецъ въ цинкъ съ силою =5, то серебро прикасаясь непосредственно къ цинку должно гнать электричество съ силою =12 (сумма отдѣльныхъ силъ). Также точно, при сообщеніи мѣди съ оловомъ гонящая сила будетъ =5, желѣза съ свинцомъ =4, желѣза съ цинкомъ=8 и т. д. Такимъ образомъ электродвижущая сила двухъ металловъ равна суммѣ электро-движущихъ силъ металловъ стоящихъ въ ихъ рядѣ или лѣстницѣ между этими двумя металлами. Потому, входятъ ли посредствующіе металлы или нѣтъ въ снарядъ сложенный изъ однихъ металловъ, всѣ ли они помѣщены между двумя образующими концы или нѣкоторые, и въ какомъ бы притомъ ни были порядкѣ, электро-движущая сила должна остаться абсолютно одна и таже, какъ еслибы первый металлъ непосредственно касался послѣдняго.“ Вольта именовалъ тѣла удовлетворяющія закону ряда (таковы металлы) проводниками *перваго класса*, тѣла не подчиняющіяся этому закону (таковы вода и другія жидкости) проводниками *втораго класса* *). Присутствіе проводника втораго класса не позволяетъ установиться въ цѣпи электрическому равновѣсію, вслѣдствіе чего и порождается *токъ*. Химическимъ явленіямъ Вольта не давалъ значенія въ образованіи тока.

Недовольно рѣзкое различеніе двухъ группъ явленій: электрическаго напряженія незамкнутаго столба и тока возникающаго когда цѣпь замкнута—породило многолѣтній споръ между двумя воззрѣніями: теоріей прикосновенія и теоріей химическаго происхожденія какъ тока такъ и самаго наэлектризованія при прикосновеніи. По теоріи прикосновенія Вольты токъ,—какъ только что было указано нами,—происходитъ отъ электродвижущей, *гонящей* электричество силы дѣйствующей въ мѣстѣ гдѣ касаются металлы (которые потому и названы Вольтой *электродвигателями*). Въ цѣпи изъ однихъ металловъ тока не бываетъ потому что электродвижущія силы металловъ удовлетворяютъ извѣстному закону Вольтова ряда. Но силы эти тотчасъ обнаруживаютъ дѣйствіе какъ скоро въ цѣпь введено тѣло (вода и другія жидкости) этому закону не подлежащее или вообще чрезъ прикосновеніе не порождающее замѣтнаго электричества.

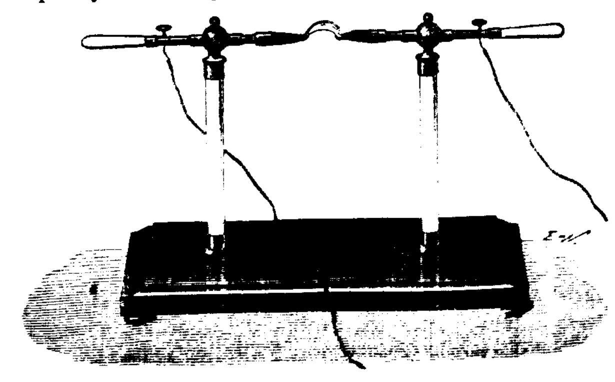
*) Вода, напримѣръ, электризуетъ цинкъ отрицательно и слѣдовательно, еслибы удовлетворяла закону ряда, еще сильнѣе должна бы электризовать мѣдь или серебро. Опытъ показываетъ, напротивъ, что электризованіе этихъ тѣлъ гораздо слабѣе чѣмъ цинка.

Теорія прикосновенія въ этомъ видѣ возбудила противъ себя неотразимыя возраженія. „Если существуетъ, справедливо замѣчалъ, напримѣръ, англійскій ученый докторъ Роджетъ (Roget, 1829) сила, имѣющая свойство приписываемое ей этою гипотезой, то-есть способная постоянно гнать нѣкоторую жидкость, не истощаясь чрезъ свое дѣйствіе, то эта сила будетъ разниться отъ всѣхъ извѣстныхъ силъ природы. Всѣ силы или источники движенія, съ дѣйствіемъ которыхъ мы знакомы, тратятся въ той пропорціи, въ какой производятъ дѣйствіе; отсюда невозможность получить помощію ихъ вѣчное дѣйствіе или *вѣчное движеніе*. Но электро-движущая сила, приписываемая Вольтой прикасающимся металламъ, есть сила, которая, какъ скоро электричеству представляется свободный путь, гонитъ его въ движеніе, никогда не истощается и продолжаетъ возбуждаться съ неослабнымъ могуществомъ, производя непрестанное дѣйствіе. Противъ истины подобнаго предположенія вѣроятность безконечна." Ту же мысль Фарадей выражаетъ слѣдующими словами: „Теорія прикосновенія предполагаетъ, что сила, которая способна побѣждать значительныя сопротивленія, а именно сопротивленіе проводниковъ, хорошихъ или дурныхъ чрезъ которые идетъ токъ, и электрическое сопротивленіе разлагаемыхъ тѣлъ, — *можетъ произойти изъ ничего*; что безъ всякой перемѣны дѣйствующей матеріи, безъ потребленія или образованія силы, можетъ произойти токъ, который пойдетъ, побѣждая постоянное сопротивленіе, или задержится, какъ въ случаѣ вольтовой батареи, только обломками, скопившимися на его пути вслѣдствіе его собственнаго дѣйствія. Это было бы поистинѣ *созданіе силы*, и другой подобной силы мы не знаемъ въ природѣ. Мы знаемъ нѣкоторые процессы, при которыхъ измѣняется *форма* силъ, такъ что происходитъ видимое *превращеніе* одной въ другую. Такъ, мы можемъ преобразовать химическую силу въ электрическій токъ, или электрическій токъ въ химическую силу. Прекрасные опыты Зебека и Пельтье показываютъ преобразуемость тепла и электричества; опыты Эрстеда и мои собственные показали преобразуемость электричества и магнетизма. Но ни въ какомъ случаѣ, ни даже въ случаѣ гимнота и электрическаго ската, нѣтъ созданія или образованія силы безъ соотвѣтствующаго потребленія чего-либо служащаго запасомъ."

Другое воззрѣніе на происхожденіе тока, принимая во вниманіе исключительно химическія его явленія, отрицало, вопреки фактамъ, возможность наэлектризованія прикасающихся разнородныхъ тѣлъ безъ предшествовавшаго химическаго измѣненія; говоримъ: вопреки фактамъ, ибо ученіе о наэлектризованіи чрезъ прикосновеніе подтверждается самыми тщательными опытами. Противорѣчіе начала прикосновенія съ началомъ сохраненія запаса силы въ природѣ устраняется тѣмъ что прикосновеніе или точнѣе притяженіе между частицами электричествъ и частицами разнородныхъ тѣлъ само по себѣ можетъ про-

извести въ цѣпи составленной изъ такихъ тѣлъ только нѣкоторое постоянное *распредѣленіе* электричества а не движеніе его. Электрическое движеніе или *токъ* обусловливается исключительно химическими процессами цѣпи. Этимъ примиряются упомянутыя воззрѣнія на происхожденіе тока.

§ 359. Опыты надъ термическими дѣйствіями тока сильныхъ гальваническихъ батарей. Мы упоминали въ § 351 о громадной батареѣ въ 2000 элементовъ устроенной по подпискѣ (въ 1808 году) для лабораторіи Королевскаго Института въ Лондонѣ. Деви такъ описываетъ ея устройство и дѣйствіе. „Она состояла изъ двухъ сотъ аппаратовъ соединенныхъ въ правильномъ порядкѣ; каждый изъ нихъ былъ изъ десяти двойныхъ досокъ (мѣди и цинка) опускавшихся въ отдѣленія фаянсоваго сосуда. Площадь каждой доски была около 32 квадратныхъ дюймовъ а такъ какъ общее число двойныхъ досокъ было 2000 то полная поверхность баттареи была 128000 кв. дюймовъ. Батарея, когда ея отдѣленія были наполнены шестидесятью частями воды смѣшанной по объему съ одною частію азотной и одною частію сѣрной кислоты обнаруживала рядъ блестящихъ и поразительныхъ дѣйствій. Когда (сообщенные съ полюсами) куски углей около дюйма длиною и $1/6$ дюйма въ діаметрѣ приближались одинъ къ другому (на $1/30$ или $1/40$ дюйма) образовалась широкая искра и болѣе чѣмъ половина объема углей дошла до бѣлокаленія; раздвинувъ концы, получали постоянный разрядъ чрезъ разогрѣтый воздухъ, на протяженіи около четырехъ дюймовъ, представлявшій собою блестящую дугу свѣта, широкую, конически расширявшуюся въ срединѣ (фиг. 508). Если вводили въ эту



Фиг. 508.

дугу какое-нибудь тѣло, оно тотчасъ раскалялось; платина плавилась такъ же быстро какъ воскъ въ пламени обыкновен-

ной свѣчи; кварцъ, сафиръ, магнезія, известь плавились; кончики угля и графита быстро исчезали какъ бы испаряясь, даже когда явленіе производилось въ пріемникѣ изъ котораго выгнанъ воздухъ; но не было признаковъ чтобъ они предварительно приходили въ расплавленное состояніе. Когда явленіе производится въ воздухѣ разрѣжаемомъ помощію насоса, то разстояніе между концами углей можетъ быть увеличиваемо по мѣрѣ разрѣженія воздуха, и когда давленіе внутри колпака около четверти дюйма ртутнаго столба, разрядъ начинаетъ проходить при разстояніи около половины дюйма между концами. Раздвигая концы, можно длину дуги довести до шести и семи дюймовъ; она представляетъ въ высшей степени красивое блистаніе пурпуроваго свѣта; уголь сильно раскаляется и прикрѣпленная къ нему платиновая проволока расплавляется съ блестящимъ сверканіемъ, падая широкими шариками на тарелку насоса.“ Электрическій свѣтъ можетъ быть произведенъ внутри масла или иной изолирующей жидкости, а также и подъ водою. Нынѣ дѣлаютъ опыты съ электрическимъ свѣтомъ, не прибѣгая къ такимъ многопарнымъ батареямъ. Пятидесяти или шестидесяти элементовъ батареи Бунзена, токъ которой пропускается чрезъ палочки весьма твердаго угля (сплотняемаго изъ мелкаго угля остающагося въ ретортахъ при газовомъ производствѣ) — достаточно чтобы произвести электрическій свѣтъ съ силою освѣщенія нѣсколькихъ сотъ свѣчей. Дабы свѣтъ былъ непрерывенъ, употребляются электромагнитные регуляторы (см страницу 306, фиг. 272) сближающіе угли по мѣрѣ ихъ истребленія. Слѣдить за постепеннымъ истребленіемъ углей, изъ которыхъ соотвѣтствующій положительному полюсу истребляется вдвое скорѣе, весьма удобно, проложивъ,—помощію передняго стекла фонаря гдѣ помѣщается регуляторъ,—изображеніе углей на экранъ Чтобы изображеніе было ясно, передъ стекломъ ставится діафрагма съ круглымъ отверстіемъ.

Батареи съ весьма большою поверхностію устраивались (около 1815 г.) англійскимъ ученымъ Чайльдреномъ (Children). Самая большая „состояла изъ двадцати двойныхъ досокъ; четыре фута на два; они погружались въ отдѣленія деревяннаго корыта, выложеннаго цементомъ и наполненнаго разбавленною кислотой. Батарея въ полномъ дѣйствіи разлагала воду и производила сотрясенія въ человѣческомъ тѣлѣ не болѣе чѣмъ батарея съ равнымъ числомъ малыхъ досокъ, но когда токъ замыкался металлическими проволоками, явленіе было самаго яркаго рода. Платиновая проволока $^1/_{30}$ дюйма толщиною и 18 дюймовъ длиною, введенная въ цѣпь между мѣдными полюсами, мгновенно раскалилась до красна и затѣмъ до бѣла; яркость свѣта была почти нестерпима для глаза; въ нѣсколько секундъ металлъ расплавился на шарики. Другіе металлы легко плавились и обращались въ паръ. Раскаленные концы

углей давали свѣтъ столь яркій, что солнечное сіяніе сравнительно казалось слабымъ“ *).

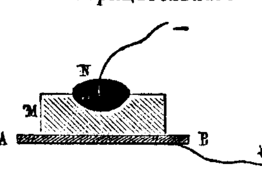
§ 360. Химическія дѣйствія батарей большой силы. Открытія Деви. Деви пробовалъ разлагать растворы ѣдкаго кали и натра въ водѣ, дѣйствуя батареей изъ 250 элементовъ (погруженныя въ растворъ квасцовъ и азотной кислоты дощечки мѣди и цинка въ 6 и 4 квадратныхъ дюймовъ). Обнаружилось сильное дѣйствіе, но разлагалась только вода, выдѣляя кислородъ и водородъ съ сильнымъ кипѣніемъ и нагрѣваніемъ. „Такъ какъ вода такимъ образомъ отвращала разложеніе“, то Деви попробовалъ разлагать ѣдкое кали въ расплавленномъ состояніи на платиновой ложкѣ. „При проволокѣ проведенной отъ отрицательнаго полюса обнаружился сильный свѣтъ и колонки пламени, происходившаго, по видимому, отъ развитія нѣкотораго горючаго вещества отдѣлявшагося въ мѣстѣ прикосновенія.“ Но собрать это вещество было невозможно. Тогда Деви взялъ небольшой кусокъ чистаго ѣдкаго кали, выставилъ его на воздухъ на короткое время, такъ что поверхность куска пріобрѣла проводимость вслѣдствіе слабаго поглощенія влаги воздуха (сухое кали непроводникъ). Потомъ положилъ этотъ кусокъ на изолированный платиновый кружокъ соединенный проволокой съ отрицательнымъ полюсомъ батареи изъ 250 элементовъ; а къ поверхности куска прикоснулся платиновою проволокой проведенной отъ положительнаго полюса. „Обнаружилось сильное дѣйствіе. Ѣдкое кали начало плавиться въ обоихъ мѣстахъ прикосновенія. На верхней сторонѣ происходило сильное кипѣніе; на нижней или отрицательной не замѣтно было отдѣленія газа, но показались маленькіе шарики рѣзко металлическаго блеска, похожіе на ртуть. Нѣкоторые сгорали яркимъ пламенемъ по мѣрѣ того какъ образовывались, другіе оставались, тускнѣли и покрывались тонкою плевой (оказавшейся ѣдкимъ кали). Эти шарики **) и были то вещество котораго я искалъ: особое горючее начало, составная часть кали—(металлъ) *потасій*.“ Металлъ этотъ такъ жадно

---

*) Въ противоположность съ этими большими батареями, Вульстенъ устроилъ (изъ наперстка съ отрѣзаннымъ дномъ, сплюснутаго такъ что онъ представлялъ собою двѣ близко лежащія поверхности, между которыми вставлялась цинковая дощечка въ $^3/_4$ квад. дюйма)— маленькій элементъ раскалявшій тончайшую платиновую проволоку.

**) Біографъ знаменитаго химика, описываетъ что, „когда Деви увидѣлъ маленькіе шарики потасія, выдѣляющіеся изъ подъ коры ѣдкаго кали и загоравшіеся въ прикосновеніи съ воздухомъ и влагой, онъ не могъ сдержать своей радости: скакалъ какъ бы объятый безумнымъ экстазомъ: и только чрезъ нѣкоторое время успокоился и могъ продолжать работу“.

стремится соединиться съ кислородомъ, что, будучи брошенъ на поверхность воды, разлагаетъ ее, принимая кислородъ и выдѣляя водородъ, причемъ обнаруживается столько теплоты что водородъ воспламеняется. Потасій, называемый также *каліемъ*, сохраняется потому въ жидкостяхъ не содержащихъ кислорода, въ нефти, фотогенѣ и т. под. Если соединить платиновую пластинку, на которую положенъ кусокъ ѣдкаго коли, съ положительнымъ полюсомъ; проволоку же идущую отъ отрицательнаго полюса опустить въ каплю ртути, помѣщенную (фиг. 509) въ углубленіи на верхней сторонѣ куска, то выдѣляющійся потасій соединится съ ртутью, образуя амальгаму потасія, изъ которой потомъ можно добыть самый металлъ. Кромѣ кали Деви разложилъ и другія щелочи и земли и открылъ натрій, барій, кальцій, стронцій, магній.



Фиг. 509.

§ 361. Опыты съ физіологическими дѣйствіями гальваническихъ батарей. Изобрѣтеніе гальванической батареи дало новое сильное орудіе для производства электро-физіологическихъ опытовъ. Гальваническія испытанія производились не надъ однѣми лягушками а также и надъ многими другими животными. Такъ, Александръ Гумбольдтъ (1797) гальванизовалъ трупы птичекъ только что лишенныхъ жизни (обыкновенно чрезъ погруженіе въ воду) и заставлялъ ихъ открывать глаза, ударять крыльями и т. под.. Гумбольдтъ вставлялъ въ клювъ пластинку цинка, въ задній проходъ серебряную трубочку и сообщалъ межъ собою оба металла помощію проволоки. „Въ моментъ прикосновенія птичка открыла глаза и поднялась на лапки, ударяя крыльями."

Альдини, племянникъ Гальвани, и другіе воспользовались столбомъ Вольты для производства опытовъ въ большихъ рззмѣрахъ надъ гальванизованіемъ труповъ живыхъ существъ, только что лишенныхъ жизни. Многочисленные опыты въ разныхъ мѣстахъ были производены надъ трупами казненныхъ. Упомянемъ объ опытахъ доктора Юръ (Ure) въ Глазговѣ въ 1818 году произведенныхъ помощію батареи изъ 270 элементовъ цинка и мѣди (изъ дощечекъ въ 4 квадр. дюйма). Предметомъ опытовъ было тѣло повѣшеннаго преступпника, около часа остававшагося на висилицѣ. Соединяя одинъ полюсъ съ позвоночнымъ мозгомъ, другой съ сѣдалищнымъ нервомъ, можно было произвести сильныя конвульсіи мускуловъ тѣла. Чтобы возстановить движенія сопровождающія процессъ дыханія, отъ одного полюса проводили проволоку сквозь ребра къ грудобрюшной преградѣ, другую внутрь шеи къ нерву управляющему движеніями преграды. Грудь стала подыматься и опускаться, и вообще обнаружились дыхательныя движенія. „По мнѣнію многихъ ученыхъ, замѣчаетъ Юръ, которые были свидѣтелями сцены, этотъ дыхательный опытъ былъ наиболѣе поразительный какой когда-либо произ-

водился съ научнымъ снарядомъ." Дѣйствуя на нервы лица, можно было произвести самую разнообразную игру личныхъ мускуловъ; причемъ физіономія какъ бы принимала выраженія самыхъ противоположныхъ чувствъ. Одинъ изъ присутствовавшихъ не выдержалъ зрѣлища и упалъ въ обморокъ.

Внимательное изученіе дѣйствія тока на нервы управляющіе движеніемъ мускуловъ привело къ заключенію что вообще дѣйствіе это опредѣляется не абсолютною силою тока въ данный моментъ. а измѣненіями ея отъ одного момента къ другому, и возбужденіе къ движенію бываетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ быстрѣе происходятъ эти перемѣны и чѣмъ онѣ значительнѣе въ продолженіе даннаго времени *). Лапка лягушки содрагается лишь при наступленіи и при прекращеніи тока, когда же токъ продолжается въ одинаковой силѣ—она остается въ покоѣ.

§ 362. Элементы съ двумя жидкостями и постояннымъ дѣйствіемъ. Элементъ Даніеля. Дѣйствіе гальваническихъ батарей первоначальнаго устройства (состоящихъ изъ элементовъ съ одною жидкостію въ которую погружаются два разнородные металла), весьма сильное въ первое время по замкнутіи цѣпи, затѣмъ быстро ослабѣваетъ. Англійскій ученый Даніель (1836) первый усмотрѣлъ что ослабѣваніе это находится въ прямой связи съ выдѣленіемъ водорода на металлѣ служащемъ положительнымъ полюсомъ элемента *). (Почему водородъ покрывающій по-

---

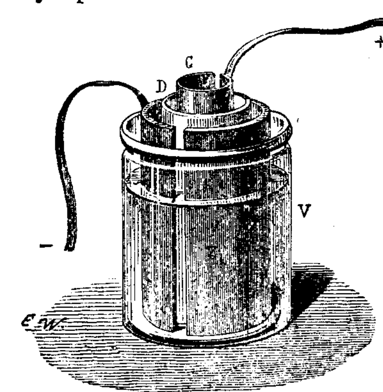
*) Если токъ дѣйствующій на нервы чрезмѣрно силенъ, то замѣчаются содраганія мускуловъ и въ то время когда токъ остается постояннымъ. Но въ этихъ случаяхъ содраганія нерѣдко наблюдаются и нѣкоторое время спустя послѣ того какъ токъ прерванъ; если же онъ продолжался значительное время, то лапка совсѣмъ утрачиваетъ чувствительность. Можно полагать что содраганія въ этихъ случзяхъ обусловливаются необыкновеннымъ электрическимъ возбужденіемъ нерва и химическими измѣненіеми произведенными сильнымъ токомъ, оказавшимъ разрушительное дѣйствіе.

*) „Мои усилія, говоритъ Даніель, были направлены къ тому чтобы открыть причину непостоянства дѣйствія (элементовъ)... Я далъ батареѣ (изъ цинка и платины погруженныхъ въ воду съ сѣрной кислотой) истощить свою силу, оставивъ снарядъ замкнутымъ тридцать часовъ, послѣ чего въ вольтаметрѣ не было замѣтнаго выдѣленія газовъ. Затѣмъ я вынулъ

верхность металла производитъ ослабленіе тока упомянемъ ниже когда будемъ говорить о такъ называемой *электрической поляризаціи электродовъ*). Чтобъ устранить выдѣленіе водорода, Даніель,—оставивъ цинкъ въ обыкновенной жидкости гальваническихъ батарей,(вода съ сѣрною кислотой),—мѣдь погрузилъ въ растворъ мѣднаго купороса, раздѣливъ жидкости скважистою перегородкой, которая, задерживая ихъ смѣшеніе, не превращала распространеніе тока.

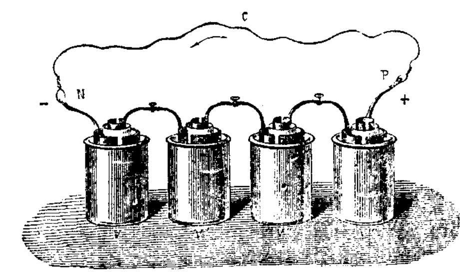
платиновыя пластинки и замѣнилъ ихъ новыми: дѣйствіе возобновилось съ тою же почти силою какъ въ началѣ, но ослабѣваніе происходило значительно скорѣе чѣмъ прежде. Даже при замѣнѣ платиновыхъ пластинокъ желѣзными можно было замѣтить возобновленіе дѣйствія съ большою силою. Ослабленіе зависѣло, повидимому, отъ нѣкотораго особаго состоянія, въ какое приходили проводящія пластинки. Я старался устранить его разными способами. Я полировалъ пластинки, нагрѣвалъ до краснокаленія, варилъ въ растворѣ ѣдкаго кали, и все безъ рѣшительнаго результата. Впрочемъ кипяченіе въ азотной и соляной кислотахъ возстановляло дѣйствіе... Разсматривая платиновыя пластинки послѣ долго продолжавшагося дѣйствія, я замѣтилъ шероховатость при краяхъ и на сторонахъ, дававшую мысль что платина разъѣдена. Болѣе внимательное изслѣдованіе показало что это происходило отъ отложенія на платинѣ металлическаго цинка; и когда баттарея была замкнута въ продолженіе восьмидесяти часовъ, кора наросла настолько что оттѣлялась хлопьями... Цинкъ несомнѣнно происходилъ отъ окиси цинка, образованной дѣйствіемъ батареи (отъ окисленія и растворенія ея цинковыхъ дощечекъ) и былъ возстановленъ изъ окиси дѣйствіемъ выдѣляющагося при платинѣ водорода (in statu nascenti); скопленіе этого цинка въ разныхъ количествахъ достаточно объясняетъ измѣненіе и полное прекращеніе тока. Въ самомъ дѣлѣ въ нѣкоторыхъ случаяхъ платина такъ покрывается цинкомъ что представляетъ какъ бы другую цинковую поверхность противоположную первой.* Принимая во вниманіе что водородъ оказываетъ раскисляющее дѣйствіе и на другія металлическія окиси, Даніель возымѣлъ мысль, замѣнивъ платину мѣдью, погрузить мѣдь въ растворъ мѣдной соли изъ котораго дѣйствіемъ водорода выдѣлась бы мѣдь. Мѣдь, насѣдая на мѣдный же электродъ, не можетъ производить ослабляющаго дѣйствія. Даніель выбралъ растворъ мѣднаго купороса, отдѣливъ его отъ пространства гдѣ находится цинкъ перепонкой, именно, сдѣлавъ родъ цилиндра изъ бычачьяго горла. Такой скважистый сосудъ съ заключавшимися въ немъ подкисленною водою и цинкомъ погру-

Фиг. 510 изображаетъ элементъ Даніеля въ его нынѣшнемъ устройствѣ. Цинковый цилиндръ *Z* по-



Фиг. 510.

гружается въ воду съ сѣрною кислотой налитую въ стеклянный сосудъ *V*. Цилиндрическій сосудъ *D* изъ скважистой, слабо обожженной глины вмѣщаетъ въ себѣ мѣдный цилиндръ *C* погруженный въ растворъ мѣднаго купороса. Фиг. 511 изображаетъ соединеніе нѣсколькихъ элементовъ въ батарею.

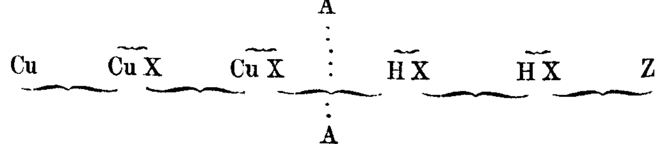


Фиг. 511.

Когда элементъ замкнутъ, начинается разложеніе жидкостей. Въ части спаряда гдѣ погруженъ цинкъ разложеніе

жался въ сосудъ съ купоросомъ и мѣднымъ цилиндромъ. Таковъ былъ ходъ открытія Даніеля. Послѣдующія изслѣдованія показали, впрочемъ, что его разсужденіе было не полно и не точно. Водородъ выдѣляющійся въ элементѣ съ одною жидко-

происходитъ какъ описано въ § 357, но выдѣляющійся на границѣ воды съ мѣднымъ купоросомъ водородъ замѣщаетъ собою мѣдь въ разлагающейся частицѣ купороса; мѣдь выдѣленная изъ перваго ряда частицъ замѣщаетъ собою мѣдь втораго ряда и т. д., до частицъ лежащихъ въ сосѣдствѣ мѣднаго электрода, на которомъ и осядаетъ мѣдь выдѣляющаяся изъ послѣдняго ряда частицъ купороса. Если представимъ себѣ что каждая частица водной сѣрной кислоты есть соединеніе водорода H съ группою X атомовъ сѣры и кислоро- (SO_4 по химическому обозначенію), каждая частица мѣднаго купороса — соединеніе мѣди Cu съ такою же группою X, то процессъ разложенія можно наглядно изобразить слѣдующимъ рядомъ, гдѣ AA есть перегородка раздѣляющая жидкости:



Такъ какъ мѣдный электродъ покрывается не водородомъ, а однородной съ нимъ мѣдью, то ослабленія тока не замѣчается. Чтобы постепенное выдѣленіе мѣди не истощало раствора, въ него кладется избытокъ купороса. Даніель при первоначальномъ устройствѣ своего снаряда заботился чтобы устранить также измѣненіе претерпѣваемое жидкостію окружающею цинкъ (вслѣдствіе растворенія этого металла) и помощію сифона постепенно удалялъ ее, замѣняя новою. Впослѣдствіи это оставлено.

Англійскій ученый Гровъ (1840) устроилъ сильный элементъ изъ цинка и платины, погрузивъ цинкъ въ воду съ сѣрною кислотой, а платину въ жидкость поглощающую выдѣляющійся водородъ, а именно въ азотную кислоту (крѣпкая водка). Эта жидкость, богатая кислородомъ, окисляетъ выдѣляющійся водородъ, обра-

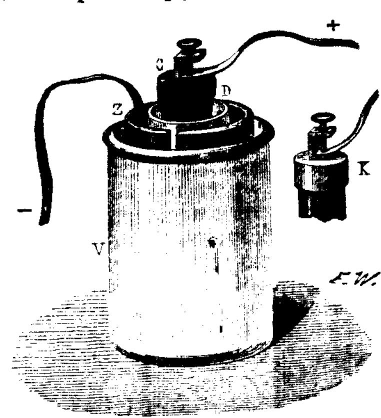
---

стію дѣйствуетъ не только тѣмъ что возстановляетъ цинкъ (это уже дальнѣйшая стадія опыта), но непосредственно производя явленіе именуемое *поляризаціею* электродовъ. Покрытая слоемъ водорода дощечка платины или мѣди электризуется получая отрицательное электричество и направляя положительное въ жидкость куда погружена, слѣдовательно *противъ* направленія тока. Прибавимъ что употребленіе при гальваническихъ изслѣдованіяхъ двухъ жидкостей раздѣленныхъ скважистою перегородкою введено первоначально французскимъ ученымъ Беккерелемъ.

зуя воду и сама приходя постепенно въ менѣе окисленное состояніе. Элементъ весьма силенъ, хотя и менѣе постояненъ чѣмъ элементъ Даніеля. По дороговизнѣ платины элементы Грова дѣлаются небольшой величины. Знаменитый профессоръ химіи въ Гейдельбергѣ Бунзенъ сдѣлалъ важный шагъ въ устройствѣ постоянныхъ сильно дѣйствующихъ батарей, замѣнивъ платину элемента Грова плотнымъ углемъ, приготовляемымъ изъ угля остающагося въ ретортахъ при добываніи свѣтильнаго газа.

Въ недавнее время Бунзену удалось устроить достаточно постоянную батарею изъ цинка и угля погружаемыхъ въ одну жидкость. Употребляемая жидкость, отъ точнаго состава которой зависитъ успѣшное дѣйствіе снаряда, есть хромовая кислота смѣшанная съ сѣрною кислотою и водой (на 40 банокъ берется 6,182 килограммовъ двухромокислаго кали въ порошкѣ, 6,282 сѣрной кислоты и 60,47 литровъ воды).

Фиг. 512 изображаетъ элементъ Бунзена. *Z* есть цинковый цилиндръ погруженный въ воду съ сѣрной



Фиг. 512.

кислотой; *D* скважистый сосудъ содержащій азотную кислоту, въ которую погружается цилиндръ или плитка твердаго угля. Неудобство элементовъ Грова и Бунзена въ томъ что они распространяютъ вредные пары раскисленной азотной кислоты.

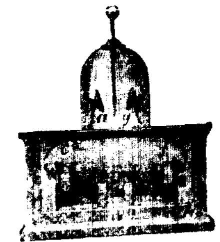
§ 363. Сухіе столбы. Нельзя ли, спрашивалъ Вольта, найти *твердый* проводникъ, который не обнаруживалъ бы электродвижущей силы, или по крайней мѣрѣ не подчинялся вышеупомянутому (второму) закону ряда и который можно бы было помѣстить между парами обыкновенныхъ металовъ, чтобы сдѣлать электро-двигатель весь изъ твердыхъ тѣлъ (сухой столбъ). „Открытіе кажется мнѣ труднымъ,но не невозможнымъ", прибавляетъ Вольта. Пытаясь разрѣшить подобную задачу, Делюкъ *) (1810) устроилъ столбъ изъ паръ цинка и серебра переложенныхъ обыкновенною бумагой, которую онъ, дабы достичь тѣснѣйшаго прикосновенія, наклеивалъ на тотъ или другой металлъ. Столбъ обнаружилъ замѣтное электрическое напряженіе при концахъ.

Сухіе столбы стали предметомъ многихъ изслѣдованій послѣ того какъ италіянскій ученый Замбони (Zamboni) сдѣлалъ извѣстнымъ свой снарядъ. Замбони (1814) употреблялъ серебряную бумагу (то-есть покрытую сплавомъ олова и цинка), на неметалическую сторону которой накладывалась тѣстообразная масса изъ порошка марганца, смоченнаго медомъ (позднѣе Замбони смачивалъ неметаллическую сторону бумаги сѣрнокислою окисью цинка и натиралъ порошкомъ марганца). Изъ такой бумаги вырѣзывалось множество кружковъ, которые и налагались одинъ на другой разнородными сторонами. Замбони налагалъ до 2000 такихъ кружковъ въ стеклянную трубку, стѣнки которой снаружи и снутри покрывались слоемъ сургуча. Трубка ставилась вертикально на металлической ножкѣ. Вверху снарядъ имѣлъ мѣдную головку. Столбикъ изъ 2000 кружковъ заставлялъ сильно расходиться листки электроскопа, давалъ искру около линіи длиною, заряжалъ лейденскую банку такъ что она давала весьма чувствительное сотрясеніе. Особый интересъ ненаучной публики возбуждалъ электрическій маятникъ Замбони. А именно Замбони „ставилъ два совершенно одинаковые столба въ разстояніи 4 или 5 дюймовъ (одинъ положительнымъ другой отрицательнымъ полюсомъ кверху) и между ними на особой подставкѣ подвижную (изолированную) стрѣлку на горизонтальной оси, подобно стрѣлкѣ наклоненія. Ея длина была около $^2/_3$ длины столба. Стрѣлка попеременно притягивается то однимъ то другимъ столбомъ, и движеніе ея продолжается непрерывно пока дѣйствуетъ столбъ." Замбони имѣлъ аппаратъ стрѣлка котораго качалась непрерывно около двухъ лѣтъ.

*) Извѣстный геологъ и физикъ родившійся въ Женевѣ въ 1727 году, умершій въ Англіи въ кругу королевскаго семейства въ 1827 году. Первый изобрѣтатель сухихъ столбовъ есть собственно Беренсъ (Behrens), передавшій (1805) издателю *Физическаго журнала* Гильберту нѣсколько мемуаровъ, гдѣ между прочими снарядами описанъ сухой столбъ, и затѣмъ безслѣдно сошедшій съ ученаго поприща. Беренсъ слагалъ столбъ изъ многихъ десятковъ элементовъ изъ цинка и золотой бумаги.

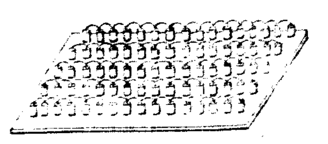
Надѣялись даже воспользоваться снарядомъ для устройства правильно идущихъ часовъ, которыя не было бы надобности заводить въ продолженіе всей человѣческой жизни. Пять такихъ часовъ были устроены съ большими издержками, но нисколько не оправдали надежды. Сухіе столбы удобны для повѣрки законовъ электрическаго напряженія столба. Рядъ замѣчательныхъ опытовъ съ сухими столбами былъ произведенъ въ 1816 году профессоромъ астрономіи въ Гетингенѣ Боненбергеромъ. Онъ доказалъ, между прочимъ, что дѣйствіе снаряда обусловивается небольшою степенью влажности какую всегда имѣетъ бумага. Столбикъ сложенный изъ кружковъ тщательно высушенной бумаги не оказывалъ дѣйствія. Такимъ образомъ проводникъ раздѣляющій металлическія пары въ сухомъ столбѣ имѣетъ совершенно то же значеніе какъ смоченая папка въ столбѣ Вольты, съ тою лишь разницею что бумага сухаго столба, по ея слабой степени влажности, представляетъ гораздо болѣе сопротивленія движенію электричества чѣмъ мокрый проводникъ обыкновеннаго Вольтова столба.

Боненбергеръ (1815) воспользовался сухимъ столбомъ чтобъ устроить весьма чувствительный и удобный электроскопъ. Фиг. 513 изображаетъ снарядъ такого рода по устройству Фехнера, приложившаго его къ изслѣдованію электрическихъ явленій прикосновенія. Золотой листочекъ повѣшенный между полюсами столба притягивается тѣмъ или другимъ изъ нихъ, смотря по сообщаемому электричеству.



Фиг. 513.

§ 364. Гальваническая батарея изъ большаго числа маленькихъ элементовъ Гассіота. „Водяная батарея" англійскаго ученаго Гассіота „состоитъ изъ 3520 паръ, образованныхъ рядомъ цинковыхъ и мѣдныхъ цилиндровъ, причемъ каждая пара опускается въ отдѣльный стеклянный стаканчикъ, тщательно покрытый снаружи лакомъ. Стаканчики помѣщались на стеклянныя подставки покрытыя съ обѣихъ сторонъ толстымъ слоемъ



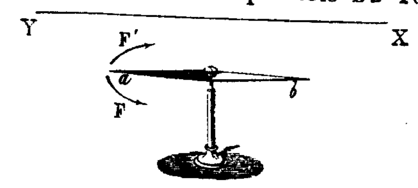
Фиг. 514.

лака... Эти 3520 стаканчиковъ, такимъ образомъ изолированные, ставились на 44 дубовыя доски, по 80 на каждую, также покрытыя лакомъ". На фиг. 514 изображена одна изъ такихъ досокъ,

а слѣва отъ нея отдѣльный элементъ. Доски вставлялись въ деревянный станокъ одна надъ другой, такъ что снарядъ имѣлъ видъ этажерки съ полками. Въ мѣстахъ соединенія съ перекладинами доски еще изолировались помощію покрытыхъ лакомъ толстыхъ кусковъ стекла. Полюсы такой батареи обнаружили значительно электрическое напряженіе. При сближеніи проволокъ соединенныхъ съ полюсами появлялась искра (на разстояніи $^1/_{30}$ дюйма) *прежде* чѣмъ концы эти приводились въ прикосновеніе. Наблюдатель, стоя на полу и поднося суставъ пальца къ одному изъ полюсовъ, также получалъ небольшую искру. Главная трудность устройства снаряда въ томъ чтобы его хорошо изолировать. Опытъ показалъ что это чрезвычайно трудно, и несмотря на всѣ предосторожности, батарею нельзя было считать вполнѣ изолированною.

IV. Электро-магнитныя явленія.

§ 365. Дѣйствіе тока на магнитяую стрѣлку, открытое Эрстедомъ. Въ концѣ лѣта 1820 года нѣкоторые изъ европейскихъ физиковъ получили изъ Даніи отъ копенгагенскаго професеора Эрштеда небольшую брошюру *Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam.* Подъ брошюрою было выставлено 21 іюля 1820 года. Въ этой брошурѣ описывались слѣдующіе опыты: 1) металлическая проволока, соединяющая полюсы Вольтова столба, дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку. Если такую проволоку держать (фиг. 515) надъ магнитною стрѣлкою въ томъ же на-

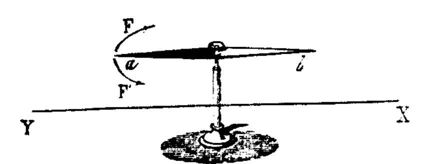


Фиг. 515.

правленіи какое имѣетъ самая стрѣлка (то-есть отъ юга къ сѣверу), то стрѣлка отклоняется отъ своего положенія въ магнитномъ меридіанѣ и образуетъ съ

*) Эрстедъ (Oersted), профессоръ физики въ Копенгагенѣ, родился въ 1777 году. Его отецъ былъ аптекарь. Въ 1799 году Эрстедъ вступилъ адъюнктомъ фармаціи на медицинскій факуль-

нимъ уголъ, котораго величина зависитъ отъ силы употребленнаго столба. Если соединительную проволоку помѣстить надъ стрѣлкою не параллельно, но перпендикулярно къ ея положенію (то-есть отъ запада къ востоку), тогда не бываетъ отклоненія, и слѣдовательно сила земнаго магнетизма и сила проволоки дѣйствуютъ въ такомъ случаѣ по одному направленію. Въ среднихъ положеніяхъ отклоненіе существуетъ, но оно менѣе, чѣмъ когда проволока параллельна стрѣлкѣ. Если помѣстить соединительную проволоку надъ стрѣлкою, параллельно ей, но не прямо по ея направленію, а нѣсколько вправо или влѣво отъ нея, то отклоненіе происходитъ въ ту же сторону какъ еслибы проволока проходила надъ стрѣлкой прямо по ея направленію. 2) Если перемѣнить направленіе тока, соединивъ съ отрицательнымъ полюсомъ конецъ стрѣлки, который прежде былъ соединенъ съ положительнымъ и наоборотъ, то отклоненіе стрѣлки произойдетъ въ противную сторону. 3) Если соединительная проволока помѣщена *подъ* стрѣлкою (фиг.



Фиг. 516.

516) въ томъ же направленіи, какъ была *надъ* нею,

тетъ въ Копенгагенѣ, въ 1801—1803 путешествовалъ по Германіи, Голландіи и Франціи. Профессоръ физики съ 1806 года. Въ сочиненіяхъ своихъ *Взглядъ на химическіе законы природы* (издано въ Берлинѣ, 1812) и *Изысканія о тождествѣ силъ электрическихъ и химическихъ* (напечатано въ Парижѣ 1813) высказывалъ мысли о всеобщности электричества и отношеніяхъ его къ магнетизму. Знаменитое открытіе свое сдѣлалъ въ 1820 году. Черезъ два года послѣ того былъ опять заграницей и по возвращеніи на родину основалъ общество для распространенія знаній, устроивавшее чтенія по научнымъ предметамъ въ разныхъ городахъ страны.

то обнаруживается замѣчательное явленіе: дѣйствіе оказывается противоположное съ первымъ случаемъ, и стрѣлка отклоняется въ другую сторону. 4) Сила дѣйствія соединительной проволоки уменьшается съ разстояніемъ. 5) Если токъ не замкнутъ, и проволока соединена только съ однимъ изъ полюсовъ, то не обнаруживается никакого дѣйствія на магнитную стрѣлку. 6) Постороннія тѣла, помѣщенныя между проводящею проволокою и стрѣлкою, не мѣшаютъ дѣйствію проволоки (исключая тѣлъ магнитныхъ).

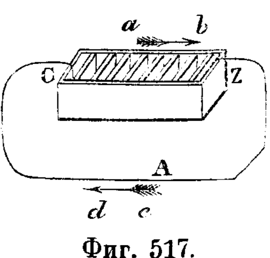
Изъ этого обзора видно, что новооткрытый родъ дѣйствія представлялъ много особенностей, повидимому, противорѣчащихъ общепринятымъ понятіямъ о дѣйствіи силъ. Верхняя и нижняя стороны проволоки оказываютъ противоположное дѣйствіе. Далѣе, дѣйствіе это стремится выгнать полюсы стрѣлки (одинъ въ одну, другой въ другую сторону) изъ плоскости первоначально заключающей въ себѣ проволоку и стрѣлку. Между тѣмъ, очевидно, дѣйствіе происходитъ отъ того что каждый элементъ проволоки дѣйствуетъ на каждую частицу стрѣлки. Естественнѣе всего предположить, что это дѣйствіе происходитъ по линіямъ, соединяющимъ частицы проволоки съ частицами магнитной стрѣлки. Казалось бы сила не можетъ произвести перемѣщенія перпендикулярнаго къ своему направленію; слѣдовательно, когда проволока помѣщена параллельно стрѣлки, то послѣдняя должна бы оставаться въ своемъ положеніи. Между тѣмъ именно въ этомъ случаѣ дѣйствіе проволоки на стрѣлку сильнѣйшее. Концы стрѣлки отклоняются, какъ бы гонимые силами перпендикулярными къ линіямъ соединяющимъ частицы проволоки съ частицами стрѣлки. Когда же проволока расположена перпендикулярно къ направленію магнитной стрѣлки, то въ этомъ положеніи проволока не дѣйствуетъ на стрѣлку.

Эрстедъ такъ описываетъ ходъ своего изобрѣтенія. Изучая явленія тепла, обнаруживающагося въ тѣлѣ, чрезъ которое проходитъ электрическій разрядъ и въ которомъ, слѣдовательно, происходитъ соединеніе противоположныхъ электричествъ, онъ напалъ на предположеніе, „что двѣ противоположныя электрическія силы, проникая нагрѣваемое ими тѣло, такъ смѣшиваются въ немъ между собою, что ускользаютъ отъ наблюденія, но въ то же время не приходятъ въ полный покой и могутъ обнаруживать сильное дѣйствіе, хотя и подъ формой совершенно отличной отъ той, которую мы зовемъ электричествомъ“... Не окажутъ ли, спрашивалъ онъ далѣе, эти силы „въ своемъ наиболѣе скрытомъ состояніи“, въ какомъ онѣ находятся въ раскаленной ими проволокѣ, какого-либо дѣйствія на магнитъ? „Я не преслѣдовалъ, говоритъ Эрстедъ, задуманную идею съ тѣмъ рве-

ніемъ, какого она заслуживала. Но лекціи объ электричествѣ, гальванизмѣ и магнетизмѣ, читанныя мною весной 1820 года напомнили мнѣ ее... Моя аудиторія состояла изъ людей свѣдущихъ въ наукѣ; потому въ моихъ урокахъ и приготовительныхъ къ нимъ занятіяхъ я могъ предаваться размышленіямъ болѣе глубокимъ чѣмъ какія дѣлаются на обыкновенныхъ лекціяхъ. Мое старое убѣжденіе въ тождествѣ силъ электрическихъ и магнитныхъ предстало мнѣ съ новою ясностію, и я рѣшился подвергнуть мое мнѣніе испытанію опытомъ. Приготовленіе было сдѣлано въ тотъ же день, когда я вечеромъ долженъ былъ читать лекцію. На этой лекціи я показывалъ опытъ Кантона относительно вліянія химическихъ дѣйствій на магнитное состояніе желѣза; обратилъ вниманіе на перемѣны испытываемыя магнитною стрѣлкой во время грозы, и выразилъ предположеніе, что электрическій разрядъ можетъ также оказать дѣйствіе на стрѣлку, помѣщенную внѣ гальваническаго тока. Я рѣшился тутъ же сдѣлать испытаніе, и такъ какъ ждалъ наибольшаго дѣйствія отъ разряда сопровождающагося раскаленіемъ, то вставилъ въ соединительный проводникъ тонкую платиновую проволоку и помѣстилъ подъ него магнитную стрѣлку. Хотя дѣйствіе было несомнѣнно, но оно показалось мнѣ такъ смутнымъ, что я отложилъ подробное изслѣдованіе до другаго времени, когда надѣялся имѣть болѣе досуга. Въ началѣ іюля опыты были повторены и продолжены, и я достигъ результатовъ которые опубликовалъ.“

§ 366. Повтореніе опытовъ Эрстеда. Дополненія Ампера. Одно изъ первыхъ повтореній опыта Эрстеда было сдѣлано въ Женевѣ. Пиктетъ и Деларивъ повторили въ присутствіи члена Парижской Академіи Наукъ, Араго, опыты датскаго профессора. Араго, по возвращеніи во Францію, сообщилъ о замѣчательномъ открытіи своимъ сочленамъ въ засѣданіи Академіи 4-го сентября 1820 года. Новооткрытое явленіе произвело глубокое впечатлѣніе на знаменитаго математика Ампера. Чрезъ двѣ недѣли онъ сообщилъ Академіи нѣсколько дополненій къ изслѣдованіямъ Эрстеда и рядъ замѣчательныхъ теоретическихъ соображеній, заключавшихъ въ себѣ электрическую теорію магнитныхъ явленій и приведшихъ его къ открытію новаго явленія—взаимнаго дѣйствія токовъ. Объ этихъ размышленіяхъ и открытіяхъ Ампера скажемъ ниже. Теперь же

упомянемъ о дополненіяхъ сдѣланныхъ имъ относительно опыта Эрстеда. Такъ, Амперъ обратилъ вниманіе что на стрѣлку дѣйствуетъ не только соединяющая полюсы проволока. но и самая батарея (фиг. 517). Вообще каждая часть цѣпи въ которой идетъ *токъ* отклоняетъ находящуюся въ сосѣдствѣ съ нею стрѣлку. Далѣе, Амперъ показалъ что сила съ какою токъ дѣйствуетъ на полюсы стрѣлки перпендикулярна къ его направленію, и что если въ обыкновенныхъ условіяхъ опыта, отклонившаяся стрѣлка дѣлаетъ съ проволокою, по



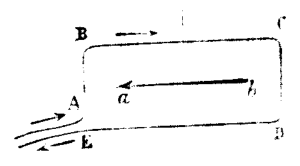
Фиг. 517.

которой идетъ токъ, уголъ менѣе 90°, то это происходитъ оттого что на стрѣлку дѣйствуютъ двѣ силы: сила тока и сила земнаго магнетизма. Чтобы сдѣлать магнитную стрѣлку независимой отъ земнаго магнетизма (*астатическою*, по выраженію Ампера) Амперъ употреблялъ различные пріемы; въ числѣ прочаго систему двухъ соединенныхъ стрѣлокъ обращенныхъ противоположными полюсами въ одну сторону, какая впослѣдствіи была приложена къ устройству *гальванометра* (такъ предложилъ Амперъ именовать снарядъ изъ стрѣлки и отклоняющей ее проволоки) и которую опишемъ ниже. Въ какую сторону происходитъ отклоненіе стрѣлки, при различныхъ положеніяхъ дѣйствующей на нее проволоки,—это Амперъ выразилъ въ слѣдующемъ правилѣ: „Если мысленно помѣстить наблюдателя по направленію тока, такъ чтобы токъ шолъ отъ ногъ къ головѣ и чтобы лицо наблюдателя было обращено къ стрѣлкѣ то дѣйствіе тока всегда отклоняетъ стрѣлку такъ что конецъ ея смотрящій на сѣверъ направляется *влѣво* отъ сказаннаго наблюдателя.“

Прибавимъ, что такъ какъ первый опытъ Эрстеда

былъ сдѣланъ съ раскаленною проволокою, то многіе полагали что онъ требуетъ батареи большой силы, но скоро оказалось что этого вовсе не требуется, и въ послѣдствіи убѣдились что магнитная стрѣлка есть въ высшей степени чувствительное средство для открытія присутствія тока.

§ 367. Устройство гальванометра съ мультипликаторомъ. Принимая во вниманіе „что проволока (проводящая токъ) оказываетъ противоположное дѣйствіе, смотря по тому находится ли она *подъ* стрѣлкою или *надъ* нею и какой конецъ ея идетъ отъ положительнаго. какой отъ отрицательнаго полюса, не трудно, говоритъ Швейгеръ *) (1821), догадаться какъ произвести удвоеніе дѣйствія.“ Для этого достаточно обогнуть стрѣлку (фиг. 518) проволокой проводящею токъ. Не трудно видѣть, руководствуясь правиломъ Ампера, что всѣ стороны четвероугольника обнимающаго стрѣлку оказываютъ согласное дѣйствіе. Дѣйствіе будетъ еще сильнѣе, если, вмѣсто одного оборота, сдѣлаемъ ихъ нѣсколько. Снарядъ состоящій



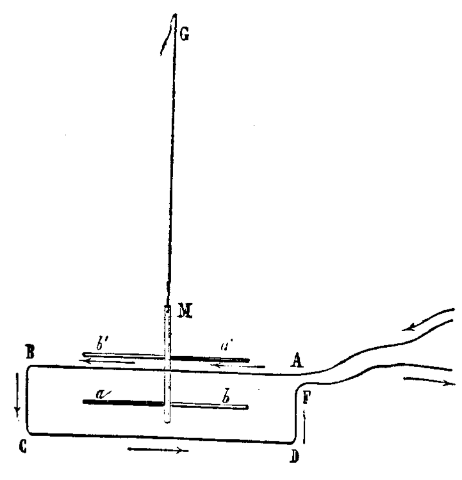
Фиг. 518.

изъ стрѣлки поставленной на остріѣ или, лучше, повѣшенной на некрученой шелковинкѣ и помѣшенной внутри рамки обмотанной проволокою (проволока должна быть изолирована, — покрыта, напримѣръ, шелкомъ, — дабы токъ прошелъ по каждому изъ оборотовъ) образуетъ гальванометръ именуемый *мультипликаторомъ Швейгера.*

---

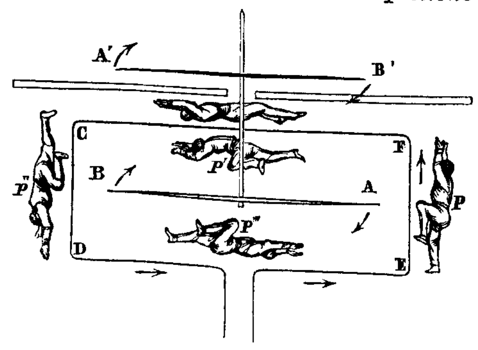
*) Швейгеръ, издатель нѣмецкаго физическаго журнала эпохи двадцатыхъ годовъ, такъ высоко цѣнилъ открытіе дѣйствія тока на магнитъ, что съ 1820 года, какъ новой эпохи физики, повелъ новую серію своего изданія

§ 368. Гальванометръ съ астатическими стрѣлками Нобили. Важное усовершенствованіе въ гальванометрѣ



Фиг. 519.

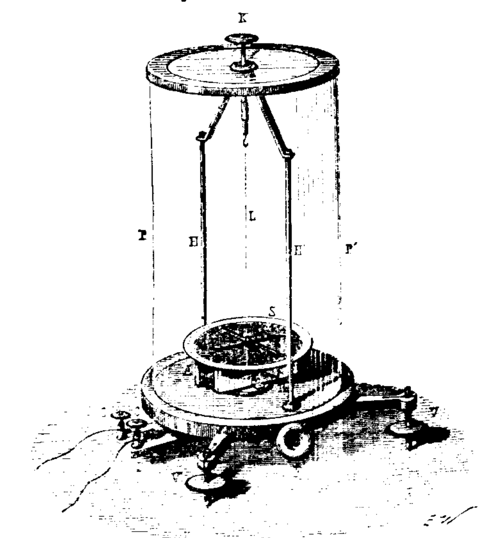
было сдѣлано (1825) италіянскимъ физикомъ Нобили чрезъ примѣненіе *астатическихъ стрѣлокъ* Ампера.



Фиг. 520.

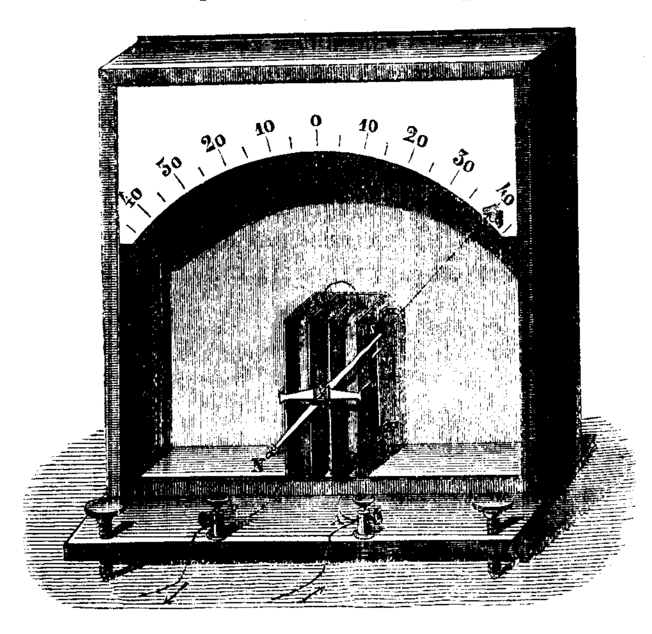
„Вмѣсто одной стрѣлки, говоритъ Нобили, я снабдилъ мой гальванометръ *двумя* стрѣлками равныхъ размѣровъ; стрѣлки эти я укрѣпилъ въ соломенкѣ па-

раллельно одна другой, воткнувъ ихъ такъ что соломенка приходилась въ срединѣ каждой. Стрѣлки были намагничены въ противоположномъ направленіи, такъ что сѣверный полюсъ одной соотвѣтствовалъ южному другой. Ихъ взаимное разстояніе и длина соломенки ихъ держащей соразмѣрены такъ что стрѣлки могутъ имѣть свободное движеніе: одна внутри рамки (фиг. 519 и 520), другая непосредственно надъ нею. Чувствительность инструмента зависитъ вполнѣ отъ прибавленія верхней стрѣлки, служащей для двоякой цѣли: съ одной стороны она почти уничтожаетъ дѣйствіе земнаго магнетизма, съ другой стороны отъ тока мультипликатора она испытываетъ дѣйствіе согласное съ испытываемымъ нижнею стрѣлкою и, совокупно съ нею, поворачивается въ томъ же направленіи.“ Руководствуясь правиломъ Ампера, не трудно, помощію фиг. 520, разобрать дѣй-



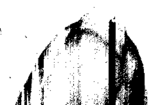
Фиг. 521.

ствіе оборотовъ мультипликатора на верхнюю и нижнюю стрѣлки. Фиг. 521 изображаетъ общій видъ гальванометра съ астатическою системою стрѣлокъ. На фиг. 522 изображенъ гальванометръ съ вертикальными стрѣлками, менѣе чувствительный чѣмъ гальванометръ со стрѣлками обращающимися горизонтально, но удобный для производства опытовъ на лекціяхъ.



Фиг. 522.

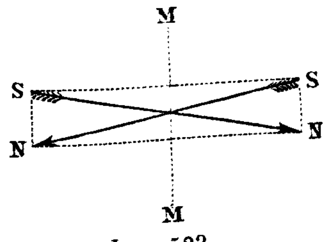
„Физикамъ, прибавляетъ Нобили, уже извѣстно что можно сдѣлать мультипликаторъ Швейгера много чувствительнѣе, если подъ аппаратомъ помѣстить, въ надлежащемъ направленіи, маленькую магнитъ, дабы уменьшить стремленіе стрѣлки мультипликатора становиться въ магнитномъ меридіанѣ. Но этотъ пріемъ далеко не доставляетъ гальванометру той чувствительности какую имѣетъ мой снарядъ, въ чемъ легко убѣдиться, сравнивая два аппарата. Но я долженъ настойчиво указать чтобъ особенное стараніе было приложено



имѣть обѣ стрѣлки возможно одинаковой силы: чѣмъ болѣе исполнено это условіе, тѣмъ чувствительнѣе снарядъ. По двумъ признакамъ узнаю я что стрѣлки намагничены надлежащимъ образомъ. Во первыхъ, по положенію принимаемому общею плоскостію стрѣлокъ когда онѣ предоставлены себѣ: положеніе въ какомъ устанавливаются стрѣлки не должно совпадать съ магнитнымъ меридіаномъ какъ въ обыкновенномъ гальванометрѣ, но должно дѣлать съ нимъ болѣе или менѣе значительный уголъ. Это уклоненіе зависитъ отъ остатка вліянія земнаго магнетизма, которое нельзя вполнѣ уничтожить, какъ бы тщательно ни были соглашены стрѣлки *). Другой признакъ— какъ качается снарядъ около линіи равновѣсія. Качанія эти должны быть очень медленны сравнительно съ тѣми какія имѣетъ одна стрѣлка, когда возвращается въ магнитный меридіанъ подъ вліяніемъ земнаго магнетизма".

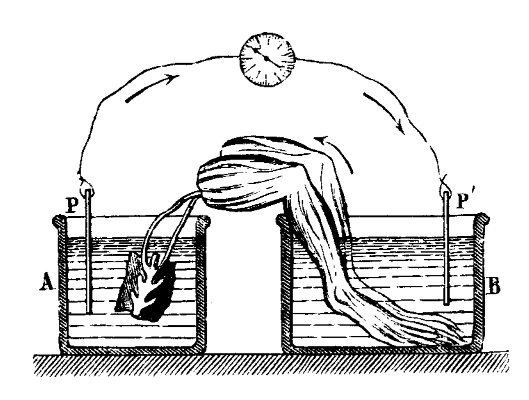
Нобили, желая испытать чувствительность своего гальванометра, сдѣлалъ сравненіе его съ чувствительнѣйшимъ изъ тогдашнихъ средствъ обнаружить наступленіе или прекращеніе тока—лапкою лягушки препарированною по способу Гальвани. „Наполнивъ, говоритъ онъ, два сосуда водою или лучше соленымъ растворомъ, помѣщаемъ лягушку такъ чтобъ ея лапки были въ одномъ, туловище въ другомъ изъ сосудовъ (напримѣръ, какъ на фиг. 524)... Беремъ прядь аміанта или простой хлопчатобумажный снурокъ и, смочивъ жидкостію, держимъ его на готовѣ чтобы замкнуть цѣпь, опустивъ его концы въ сосуды. Если лягушка только что препарирована, то въ моментъ замыканія всегда или почти всегда обнаруживается содраганіе. Въ цѣпи нѣтъ никакого металла, и дѣйствіе происходитъ единственно отъ соединенія проводниковъ втораго класса, достаточно разнородныхъ чтобы дать токъ обнаруживающійся помощію лапки лягушки... Назовемъ его вообще *токомъ лягушки*, не разбирая какими

*) Послѣднее замѣчаніе не совсѣмъ точно. Еслибы стрѣлки были строго въ одной плоскости, то та которая сильнѣе, ставъ въ меридіанѣ сѣвернымъ своимъ концемъ къ сѣверу, заставила бы и болѣе слабую принять то же положеніе, только южнымъ концемъ къ сѣверу. Не то, если стрѣлки не строго параллельны, какъ въ практикѣ всегда и бываетъ. Совокупность ихъ въ такомъ случаѣ можно разсматривать (фиг. 523) какъ узкую полоску *SSNN*, одна сторона которой *SS* имѣетъ южный, другая *NN* сѣверный магнетизмъ и которая потому располагается своею длиною перпендикулярно къ магнитному меридіану.



Фиг. 523.

частями онъ производится... Первою мыслію моею было провести подобный токъ чрезъ одинъ изъ моихъ наиболѣе чувствительныхъ мультипликаторовъ и посмотрѣть обнаружится ли дѣйствіе.

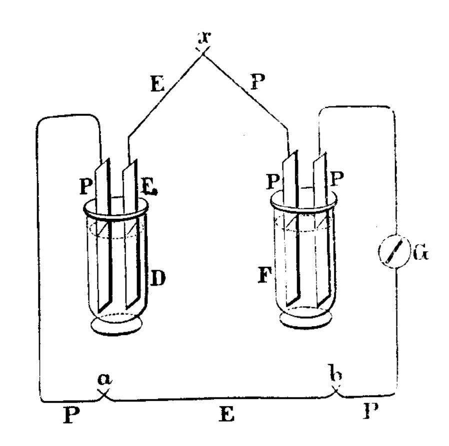


Фиг. 524.

Я имѣлъ такое довѣріе къ инструменту что былъ удивленъ, видя что лягушка содрагалась при замыканіи, тогда какъ стрѣлка не обнаруживала ни малѣйшаго движенія. Я даже сталъ опасаться способенъ ли инструментъ измѣрять токи производимые проводниками втораго класса; но прежде чѣмъ дать вѣсъ этому мнѣнію, сдѣлалъ вторую попытку: устроилъ другой гальванометръ, приложивъ все стараніе чтобъ онъ удался лучше предшествовавшаго. Онъ дѣйствительно былъ значительно болѣе деликатнаго устройства и далъ несомнѣнныя показанія тока лягушки. Когда сосуды были наполнены простою водою, отклоненія были незначительнаго числа градусовъ, но съ соленымъ растворомъ первыя движенія стрѣлки были до 10°, 20° и даже 30°. Токъ лягушки идетъ отъ мускуловъ къ нервамъ, то-есть отъ ногъ къ головѣ". Прибавимъ что со времени Нобили гальванометръ съ значительнымъ числомъ оборотовъ тонкой проволоки сдѣлался главнымъ средствомъ для электро-физіологическихъ опытовъ (Маттеучи, Дюбуа-Реймонъ и другіе).

§ 369. Изслѣдованіе помощію гальванометра связи тока съ химическими процессами цѣпи. Гальванометръ, способный обнаружить въ цѣпи, куда онъ введенъ, присутствіе самаго слабаго тока электричества особенно удобенъ для доказательства важнаго положенія, что токъ въ гальванической батареѣ наступаетъ, прекращается, усиливается и ослабѣваетъ одновременно съ наступленіемъ, прекращеніемъ, усиленіемъ и ослабленіемъ химической дѣятельности

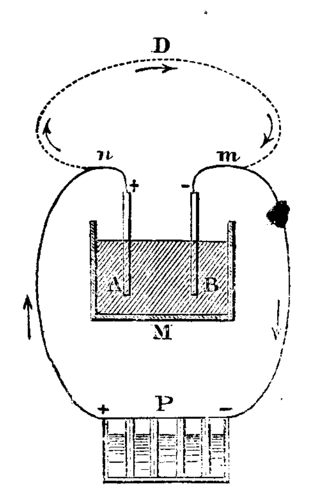
въ элементахъ и производится исключительно тѣмъ электричествомъ какое приводится въ движеніе химическими процессами, наступающими какъ скоро цѣпь замкнута. Фарадей воспользовался гальванометромъ для этой цѣли. Изъ числа его опытовъ упомянемъ о любопытномъ опытѣ съ растворомъ въ водѣ сѣрнистаго потасія. Растворъ этотъ хорошо проводитъ электричество, но не дѣйствуетъ на желѣзо и платину, изъ которыхъ Фарадей и слагаетъ цѣпь. „D и F (фиг. 525) суть, говоритъ онъ, два стеклянные сосуда наполненные концентрированнымъ растворомъ сѣрнистаго потасія, въ который погружаю, дюйма на два, четыре металическія дощечки въ 0,5 дюйма шириною; три изъ нихъ, означенныя буквами P, P, P изъ платины, четвертая E изъ желѣза. Онѣ соединены желѣзными и платиновыми проволоками. При G находится гальванометръ. При такомъ расположеніи представляются три непосредственныя прикосновенія платины и желѣза, а именно при a, b и x. Два первыя противоположны одно другому и могутъ разсматриваться какъ двѣ противоположныя, нейтрализующіяся силы; третьему не противоположено никакого металлическаго прикосновенія. Въ такой замкнутой цѣпи не обнаруживается никакого тока, и стрѣлка гальванометра остается въ покоѣ. Между тѣмъ цѣпь способна проводить самые слабые токи, ибо если дать разную температуру мѣстамъ a и b, то произойдетъ термоэлектрическій токъ, и стрѣлка получитъ постоянное отклоненіе въ 30°, 40° и даже 50°... Но если замѣстить желѣзную пластинку оловянной или еще лучше мѣдной, на которыя сѣрнистый потасій можетъ оказать



Фиг. 525.

химическое дѣйствіе, то, при замыканіи цѣпи, немедленно обнаруживается токъ: при мѣдной пластинкѣ образуется постепенно сѣрнистая мѣдь.

§ 370. Изслѣдованіе помощію гальванометра явленій поляризаціи электродовъ. Вторичныя батареи. Газовая батарея. Двѣ платиновыя пластинки (фиг. 526) опущенныя въ кислую воду и соединенныя съ гальванометромъ не даютъ тока. Но если, прекративъ сообщеніе съ гальванометромъ, соединить на нѣкоторое время эти пластинки съ полюсами гальванической батареи, такъ чтобъ онѣ служили электродами въ процессѣ разложенія воды, то, прервавъ затѣмъ токъ и вновь сообщивъ платинки съ гальванометромъ, замѣтимъ сильное дѣйствіе, потомъ мало по малу ослабѣвающее. Явленіе объясняется тѣмъ что при разложеніи воды платиновые электроды покрываются слоемъ газовъ,—положительный слоемъ выдѣляющагося при немъ кислорода, отрицательный слоемъ водорода, — и вслѣдствіе этого электризуются: электродъ покрытый водородомъ пріобрѣтаетъ отрицательное, покрытый кислородомъ положительное наэлектризованіе. Явленіе именуется электрическою поляризаціею электродовъ и есть одинъ изъ случаевъ возбужденія электричества чрезъ прикосновеніе разнородныхъ тѣлъ. При этомъ пластинка покрытая водородомъ получаетъ роль цинка, и поляризаціонный токъ въ жидкости идетъ отъ электрода покрытаго водородомъ къ электроду покрытому кислородомъ, внѣ ея отъ кислороднаго къ водородному. Но такъ какъ начальный токъ батареи, произведшій разложеніе воды, идетъ внутри этой жидкости отъ электрода на которомъ выдѣляется кислородъ къ тому гдѣ выдѣляется водородъ, то понятно что во время самаго разложенія воды поляризаціонный токъ, стремящійся возникнуть, дѣйствуетъ обратно току батареи, производящему поляризацію. Вотъ почему въ опытѣ съ разложеніемъ воды, токъ, въ началѣ сильный, затѣмъ ослабѣваетъ. Подобнымъ образомъ выдѣленіе водорода на платинѣ, углѣ, мѣди самого элемента (предполагая его съ одною жидкостію) электрически поляризуетъ эти тѣла и дѣйствуетъ

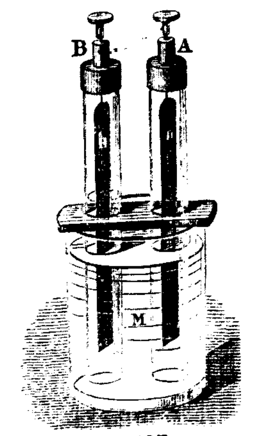


Фиг. 526.

въ ущербъ силѣ тока, постепенно его ослабляя. Отсюда главнымъ образомъ происходитъ непостоянство элементовъ съ одною жидкостію (объ этомъ непостоянствѣ и средствахъ къ его устраненію было говорено въ § 362). Водородъ какъ электроположительное тѣло играетъ роль подобную той какую игралъ бы цинкъ, еслибы покрывалъ платину, мѣдь или уголь: въ элементѣ оказываются какъ бы двѣ пластинки цинка опущенныя въ жидкость (въ § 362 мы видѣли что съ теченіемъ времени водородъ и дѣйствительно замѣняется цинкомъ, какъ показалъ Даніель).

Явленіе поляризаціи электродовъ объясняетъ дѣйствіе такъназываемыхъ *вторичныхъ батарей*, открытое германскимъ ученымъ Риттеромъ (1803). Если, вмѣсто того чтобы составлять столбъ изъ разнородныхъ металловъ, сложить его изъ кружковъ одного и того же металла, напримѣръ, изъ серебрянныхъ монетъ, переложенныхъ бумажками смоченными кислою водою, и потомъ пропустить чрезъ него нѣкоторое время токъ гальванической батареи, то каждый кружокъ покроется на одной сторонѣ слоемъ кислороднаго, на другой слоемъ водороднаго газа и чрезъ это электрически поляризуется. Соединивъ полюсы такой *вторичной батареи*, получимъ продолжающійся нѣкоторое время сильный токъ. Этотъ временный токъ можетъ быть сильнѣе тока заряжающей батареи; давать, напримѣръ, болѣе блестящія искры, сильнѣе разлагать воду. Но длится онъ лишь короткое время.

Электрическою поляризаціею объясняется также дѣйствіе *газовой батареи* Грова. Фиг. 527 изображаетъ элементъ такой батареи. Это есть родъ вольтаметра изъ двухъ платиновыхъ пластинокъ заключенныхъ въ стеклянныхъ трубкахъ, изъ коихъ одна наполнена водородомъ, другая кислородомъ. Первая представляетъ собою отрицательный, вторая положительный полюсъ элемента. Рядъ такихъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно разноименными полюсами образуетъ батарею. По мѣрѣ дѣйствія, количество газовъ постепенно уменьшается, такъ какъ, вслѣдствіе тока, на платинѣ окруженной водородомъ выдѣляется кислородъ, на платинѣ же окруженной кислородомъ водородъ; происходитъ соединеніе газовъ и образованіе воды.



Фиг. 527.

§ 371. Отклоненіе магнитной стрѣлки токомъ обыкновеннаго электричества, возбуждаемаго тренiемъ. Магнитная стрѣлка отклоняющаяся дѣйствіемъ тока или гальвано-

метръ есть главное средство для обнаруженія присутствія тока въ цѣпи. Стрѣлка испытываетъ значительное дѣйствіе въ такихъ случаяхъ когда помощію электроскопа можно обнаружить слабые признаки электричества лишь при чрезвычайныхъ предосторожностяхъ (напримѣръ, въ случаѣ одного гальваническаго элемента въ обыкновенныхъ условіяхъ его дѣйствія). Съ другой стороны, изслѣдователямъ электромагнитныхъ явленій долгое время не удавалось произвести отклоненія стрѣлки дѣйствіемъ обыкновеннаго электричества (помощію электрической машины или разряда лейденской банки); и опыты швейцарскаго ученаго Колдадона который въ 1826 г. произвелъ отклоненіе стрѣлки чувствительнаго гальванометра, пропуская чрезъ него произведенный при посредствѣ остріевъ, замедленный разрядъ лейденской батареи — даже подвергались сомнѣнію. Фарадей (1833), занимаясь изслѣдованіемъ „тождества электричествъ различнаго происхожденія", *) тщательными опытами обнаружилъ этого рода дѣйствіе и вывелъ важныя заключенія о сравнительномъ характерѣ двухъ главныхъ формъ электрическихъ явленій: напряженнаго электричества, возбуждаемаго треніемъ, и электричества гальваническаго тока. Фарадей производилъ опыты помощію довольно сильной электрической машины **) и простаго гальванометра съ небольшимъ числомъ оборотовъ мѣдной проволоки обмотанной шелкомъ. Чтобы дать электричеству возможно свободный истокъ, устроивался отводящій въ землю каналъ или разряжающій отводъ, а именно: „достаточно толстая проволока сообщалась сначала съ металлическими газовыми трубами зданія, а послѣ съ уличными газопроводными трубами и наконецъ съ металлическими водопроводными трубами Лондона. Дѣйствіе было такъ совершенно что электричество самаго слабаго напряженія уводилось мгновенно." Чтобы предохранить стрѣлку гальванометра отъ непосредственнаго электрическаго вліянія машины, стеклянный колпакъ, прикрывавшій гальванометръ, былъ внутри и внѣ выложенъ оловянны-

*) Обыкновенное электричество, гальваническое электричество, магнито-электричество, термо-электричество, животное электричество.

**) „Машина имѣла кругъ пятидесяти дюймовъ въ діаметрѣ и двѣ пары натирающихъ подушекъ; кондукторъ состоялъ изъ двухъ цилиндровъ соединенныхъ третьимъ (какъ на фиг. 478, стр. 552)... При хорошемъ возбужденіи, машина при одномъ оборотѣ круга давала изъ кондуктора отъ десяти до двѣнадцати искръ, каждая въ дюймъ длиною. Искры отъ десяти до четырнадцати дюймовъ длиною легко можно было получить изъ кондуктора. Каждый оборотъ требовалъ около четырехъ пятыхъ секунды. Батарея состояла изъ пятнадцати одинаковыхъ банокъ. Онѣ были обложены на высотѣ восьми дюймовъ, считая отъ дна, и имѣли въ окружности двадцать три дюйма каждая".

ми листами, а верхняя часть, остававшаяся необложенною, дабы можно было наблюдать стрѣлку, была прикрыта рѣшеткой изъ проволоки со многими остріями. Когда рѣшетка и обѣ обкладки были соединены съ разряжающимъ отводомъ, можно было подносить къ гальванометру, на разстояніе дюйма, изолированные острія или шарики, соединенные съ машиной во время сильнѣйшей ея дѣятельности, и стрѣлка ни малѣйшимъ образомъ не обнаруживала обыкновенныхъ электрическихъ притяженій или отталкиваній".

При такихъ условіяхъ, Фарадей безъ труда обнаружилъ дѣйствіе потока обыкновеннаго электричества на магнитную стрѣлку. Единственное условіе,—замѣчаетъ онъ,—„повидимому въ томъ чтобы дать этому потоку время обнаружить свое дѣйствіе." Опыты съ батареей производились такъ. „Обкладки защищавшіе гальванометръ были, описываетъ Фарадей, соединены съ отводящимъ каналомъ; одинъ конецъ *B* гальванометра я соединилъ съ внѣшнею обкладкой батареи и какъ конецъ этотъ такъ и обкладку сообщилъ съ отводящимъ каналомъ. Другой конецъ *A* гальванометра былъ соединенъ съ мокрой нитью, въ четыре фута длиною, и съ металлическимъ разрядникомъ. Когда батарея была заряжена положительнымъ электричествомъ отъ сорока оборотовъ машины, ее разряжали помощію нити и разрядника чрезъ гальванометръ. Стрѣлка тотчасъ приходила въ движеніе. Пока стрѣлка совершала свое качаніе въ первомъ направленіи и возвращалась, машину вертѣли и когда стрѣлка при качаніяхъ опять принимала первое направленіе разрядъ вторично посылался чрезъ гальванометръ. Послѣ немногихъ повтореній разряда качанія возросли до 40° по обѣ стороны отъ положенія покоя." Если соединеніе съ гальванометромъ было сдѣлано такъ что разрядъ шелъ отъ *B* къ *A*, то стрѣлка получала импульсы въ противоположную сторону съ первымъ случаемъ. Опытъ оставался безъ замѣтнаго измѣненія когда тонкая и длинная нить была замѣнена толстымъ и короткимъ снуркомъ. Затѣмъ, чтобъ обнаружить прямое дѣйствіе машины „батарея была удалена и соединенія устроены такъ что токъ отъ кондуктора машины проходилъ чрезъ приложенный разрядникъ, мокрый снурокъ и обороты проволоки гальванометра въ разряжающій отводъ, гдѣ и разсѣевался. Токъ можно было всякую минуту прервать, — или удаляя разрядникъ или переставая вертѣть машину или наконецъ соединяя кондукторъ съ отводомъ помощію другаго разрядника. Точно также токъ могъ быть мгновенно возстановленъ. Стрѣлка, если качалась съ умѣренною скоростію и съ малыми размахами, употребляла двадцать пять ударовъ моихъ часовъ (которые дѣлали 150 ударовъ въ минуту) чтобы пробѣжать дугу качаній въ данномъ направленіи и столько же чтобы пройти ее въ направленіи обратномъ. Когда стрѣлка успокоилась, пускали, въ продолженіи двадцати пяти часовыхъ ударовъ, токъ прямо отъ ма-

шины чрезъ гальванометръ; потомъ прерывали въ продолженіи двадцати ударовъ, опять пускали въ продолженіи того же времени, опять прерывали и т. д. Стрѣлка скоро начала видимо качаться, и чрезъ многократное повтореніе дѣйствія качаніе доходило до 40° и болѣе. При перемѣнѣ направленія тока въ гальванометрѣ, измѣнялось и отклоненіе стрѣлки. Ея движеніе всегда было согласнаго направленія съ тѣмъ какое происходило при употребленіи гальваническаго элемента. Я замѣнилъ мокрый снуръ мѣдною проволокой такъ что электричество проходило въ отводъ прямо чрезъ проволочный проводникъ, часть котораго составляли обороты гальванометра. Дѣйствіе было то же самое. Вмѣсто того чтобы проводить электричество чрезъ систему, касаясь разрядникомъ кондуктора, какъ до сихъ поръ,—на разрядникѣ укрѣплялись четыре острія, которыя и приближались къ кондуктору дюймовъ на двѣнадцать, когда требовалось произвести токъ; удалялись когда требовалось прервать. Когда было, за исключеніемъ этихъ измѣненій, поступлено какъ прежде, стрѣлка сильно отклонилась, совершено согласно съ прежними результатами... Наконецъ я провелъ электрическій токъ чрезъ стеклянный колоколъ, изъ котораго былъ выкаченъ воздухъ, такъ что электричество распространялось по подобію сѣвернаго сіянія и затѣмъ чрезъ гальванометръ въ землю. Оно и тутъ дѣйствовало отклоняющимъ образомъ на стрѣлку съ равной, повидимому, силою какъ прежде“.

§ 372. Зависимость отклоненія стрѣлки отъ количества электричества проходящаго чрезъ проводникъ. Когда было обнаружено дѣйствіе тока обыкновеннаго электричества на стрѣлку, то представилась возможность привести разборъ электромагнитныхъ явленій къ понятіямъ пріобрѣтеннымъ чрезъ изученіе обыкновенныхъ электрическихъ дѣйствій. Теорія обыкновенныхъ электрическихъ явленій сводится, какъ мы видѣли, къ двумъ главнымъ понятіямъ: *количество* электричества и *плотность* (нагляднѣе, *толщина электрическаго слоя* въ разсматриваемомъ мѣстѣ поверхности проводника; тоже понятіе менѣе точно, выражается терминомъ *электрическое напряженіе* *). Требуется рѣшить, въ какой мѣрѣ дѣйствіе проводника на стрѣлку зависитъ отъ *количества* проходящаго чрезъ него въ данное время электричества и въ какой мѣрѣ зависитъ оно отъ *электрической плотности* на его поверхности.

Равныя количества обыкновеннаго электричества, будучи пропускаемы чрезъ гальванометръ при разнообразныхъ условіяхъ, производятъ ли равныя отклоненія стрѣлки? спрашивалъ себя Фарадей. „Я вынулъ, отвѣчаетъ онъ, изъ батареи семь банокъ оставивъ восемь... Эти восемь были заряжены тридцатью оборотами машины и потомъ разряжены чрезъ гальванометръ, причемъ

*) Правильнѣе сохранить терминъ напряженіе для обозначенія того, что въ высшей математической теоріи электрическихъ явленій именуется *потенціаломъ*.

въ цѣпь введенъ былъ толстый мокрый снуръ около 10 дюймовъ длиною. Стрѣлка отклонилась на 5½ дѣленій отъ нуля (произвольной) скалы гальванометра и при качаніи перешла тоже почти на 5½ дѣленій по другую сторону. Затѣмъ были присоединены остальныя семь банокъ и всѣ пятнадцать заряжены опять тридцатью оборотами машины (слѣдовательно приблизительно тѣмъ же количествомъ электричества)... При разряженіи чрезъ гальванометръ стрѣлка пришла въ качаніе и достигла *совершенно того же* дѣленія, какъ въ первомъ случаѣ. Опыты съ восьмью и пятнадцатью банками были много разъ попеременно повторены и всегда давали тотъ же результатъ.“ Затѣмъ батарея заряжалась пятидесятью оборотами машины и была разряжена разъ чрезъ одну тонкую мокрую нить, другой разъ чрезъ тонкій смоченный дистиллированною водою снуръ 38 дюймовъ длиною, третій разъ чрезъ снуръ въ двѣнадцать разъ болѣе толстый, при 12 дюймахъ длины, смоченый разжиженною кислотою. Въ случаѣ толстаго снура разрядъ проходилъ разомъ; въ случаѣ длиннаго протекало замѣтное время,—отъ двухъ до трехъ секундъ при употребленіи одной нити,—прежде чѣмъ электрометръ Генлея, стоявшій на батареѣ, совсѣмъ опускался. Проходившее электричество, очевидно, чрезвычайно разнилось въ напряженіи но отклоненіе было *то же самое*. (Не много меньше въ случаѣ толстаго снура отъ боковой потери электричества вслѣдствіе значительности напряженія)“.

„Отсюда слѣдуетъ, заключилъ Фарадей, *что если электричество въ томъ же абсолютномъ количествѣ проходитъ чрезъ гальванометръ, то каково бы ни было его напряженіе, отклоняющее дѣйствіе на стрѣлку остается одинаковымъ*.“ Заряжая далѣе батарею разными количествами (разнымъ числомъ оборотовъ машины), Фаредей заключилъ вообще что *„отклоняющая сила электрическаго тока прямо пропорціональна абсолютному количеству проходящаго электричества*, каково бы ни было его напряженіе“.

Распространяя заключеніе на случай гальванической цѣпи, Фарадей установилъ общепринятое нынѣ положеніе, что и въ этомъ случаѣ отклоненіе стрѣлки свидѣтельствуетъ о *количествѣ* электричества проходящаго въ данное время чрезъ дѣйствующій на стрѣлку проводникъ. А такъ какъ элементъ даже весьма малыхъ размѣровъ оказываетъ безъ сравненія болѣе энергическое дѣйствіе на стрѣлку чѣмъ электричество сильной машины или лейденской батареи, то Фарадей вывелъ заключеніе что въ замкнутой цѣпи включающей такой элементъ, приводится въ движеніе сравнительно громадное количество электричества, хотя прохожденіе его сопровождается очень слабымъ напряженіемъ на поверхности проводника *),

*) Желая держаться ближе къ указанію опыта и сохранять простое понятіе о напряженія электричества, какъ о толщинѣ

Сравнивая дѣйствіе на магнитную стрѣлку разряда упомянутой лейденской батареи заряженной тридцатью оборотами электрической машины значительныхъ размѣровъ, съ дѣйствіемъ, въ продолженіе трехъ секундъ, маленькаго гальваническаго элемента (изъ цинковой и платиновой проволоки 1/18 дюйма толщины, опущенныхъ на 1/2 дюйма въ воду, едва кислую чрезъ прибавленіе сѣрной кислоты), Фарадей нашелъ отклоненіе магнитной стрѣлки одинаковымъ. Онъ заключилъ, что количество электричества, развиваемое малымъ элементомъ въ продолженіе трехъ секундъ, весьма значительно, что оно „болѣе чѣмъ сколько рѣшился бы кто-либо пропустить разомъ чрезъ свое тѣло". Давая своему опредѣленію болѣе точное выраженіе, Фарадей вывелъ, что количества электричества, доставляемаго элементомъ и пробѣгающаго въ проводникѣ, соединяющемъ полюсы, въ продолженіе времени, когда разлагается гранъ воды, было бы достаточно для сильнаго заряда 800.000 лейденскихъ банокъ средняго размѣра. Такимъ образомъ, говоритъ Фарадей, „химическое дѣйствіе грана воды на четыре грана цинка развиваетъ столько же электричества какъ сильная гроза".

Буффъ, Веберъ и Кольраушъ подтвердили выводъ Фарадея. Веберъ, и Кольраушъ, на основаніи своихъ измѣреній, нашли что еслибы собрать электричество, пробѣгающее въ гальванической цѣпи въ продолженіи того времени, когда въ элементѣ разлагается девять миллиграммовъ воды и выдѣляется одинъ миллиграммъ водорода, и „сосредоточить это количество электричества, предполагая его положительнымъ, въ облакѣ а равное ему количество отрицательнаго электричества въ лежащемъ подъ облакомъ мѣстѣ земной поверхности, то притяженіе между облакомъ и землей при разстояніи 1 000 метровъ, выразилось бы вѣсомъ 2.268.1000 килограммовъ".

электрическаго слоя на поверхности проводника, мы избѣгали выраженія „электричество въ болѣе или менѣе напряженномъ состояніи", говоря объ электричествѣ текущемъ въ толщѣ проводника. Но не рѣдко различіе между обыкновеннымъ и гальваническимъ электричествомъ характеризуютъ, сравнивая первое съ газомъ въ маломъ количествѣ, но сильно сжатымъ, а второе съ большимъ количествомъ газа при слабомъ давленіи. Но это сравненіе едва ли можетъ служить къ уясненію теоріи. Понятіе напряженія въ смыслѣ плотности или толщины слоя, прилагается лишь къ свободному электричеству, обнаруживающемуся на поверхности проводника чрезъ который идетъ токъ, и неприложимо къ электрическому состоянію толщи проводника, въ которой, согласно теоріи, движутся въ противоположныя стороны въ равныхъ количествахъ разноименныя электричества, такъ что электрическое состояніе можно разсматривать какъ *нейтральную смѣсь*, тѣмъ отличающуюся отъ нейтральной смѣси естественнаго (ненаэлектризованнаго) состоянія тѣла, что составляющія ее частицы находятся въ движеніи. Распредѣленіе свободной жидкости на поверхности проводниковъ въ данной цѣпи находится, впрочемъ, въ связи съ количествомъ электричества проходящаго внутри, и по первому можно дѣлать заключенія о второмъ.

§ 373. Сравненіе магнитныхъ и химическихъ дѣйствій тока. Химическое дѣйствіе также пропорціонально количеству проходящаго электричества. Законъ Фарадея. *) Сравнивая, далѣе, химическое дѣйствіе электричества доставляемаго 30 оборо-

---

*) Мы уже неоднократно говорили о трудахъ Фарадея. Приведемъ нѣсколько біографическихъ свѣдѣній объ этомъ величайшемъ изъ физиковъ нынѣшняго столѣтія. Фарадей былъ самоучка. Сынъ кузнеца, онъ до тринадцати лѣтъ ходилъ въ приходское училище, до двадцати жилъ въ мальчикахъ у переплетчика, двадцати одного года вступилъ помощникомъ лаборанта въ лабораторію Деви, при Королевскомъ Институтѣ, заведеніи основанномъ Румфордомъ на частныя средства и существующемъ взносами членовъ; чрезъ нѣсколько лѣтъ является великимъ ученымъ, проводитъ всю жизнь при учрежденіи его пріютившемъ, и только подъ конецъ смѣняетъ свое скромное помѣщеніе на помѣщеніе въ одномъ изъ дворцовъ, но отказывается отъ званія баронета, такъ какъ „оно ничему научить его не можетъ". Фарадей такъ описываетъ свой первый шагъ на ученое поприще, рѣшившій судьбу его жизни. „Когда я былъ, говорилъ онъ, подмастерьемъ у переплетчика, я очень любилъ опыты, и мысль продолжать занятіе ремесломъ внушала мнѣ живое отвращеніе. Случилось, что одинъ членъ Королевскаго Института взялъ меня съ собою слушать послѣднія лекціи курса, который преподавалъ сэръ-Гумфри Деви на Албамарль-Стритѣ. Я дѣлалъ замѣтки и тщательно переписалъ ихъ потомъ въ томъ in quarto. Я почувствовалъ тогда желаніе,—на которое смотрѣлъ какъ на эгоистическое и почти виновное чувство,—оставить ремесло и поступить подъ знамя науки; ибо, я воображалъ, наука должна исполнять любви и великодушія тѣхъ кто ею занимается. Итакъ я принялъ смѣлое рѣшеніе написать сэръ-Гумфри Деви, высказать ему мое желаніе и выразить надежду, что онъ поможетъ мнѣ осуществить его, если представится случай. Вмѣстѣ съ тѣмъ я послалъ ему составленныя мною записки его чтеній. Моя просьба дошла до Деви въ концѣ 1812 года, а въ началѣ 1813 онъ пригласилъ меня побывать у него и говорилъ мнѣ о мѣстѣ помощника препаратора, вакантномъ въ Институтѣ. Но содѣйствуя удовлетворенію моихъ научныхъ стремленій, онъ вмѣстѣ съ тѣмъ не совѣтовалъ мнѣ отказываться отъ предстоявшей мнѣ перспективы, говоря что наука суровая госпожа, и что въ денежномъ отношеніи она мало вознаграждаетъ поступающихъ на ея службу. Убѣжденіе мое въ нравственномъ превосходствѣ ученыхъ возбудило его улыбку, и онъ прибавилъ, что предоставляетъ опыту

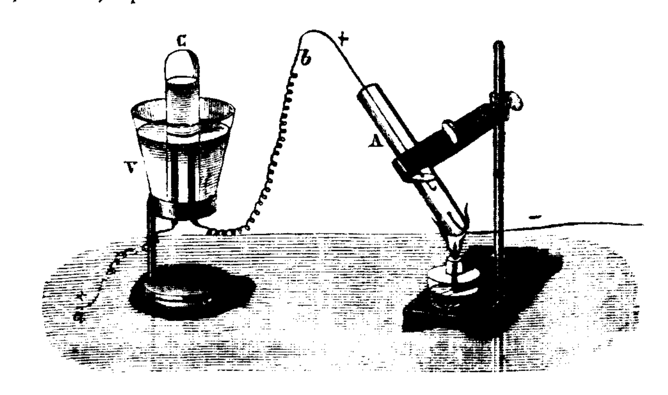
тами машины и пропускаемаго, помощію платиновой проволоки, сквозь бумажку положенную на платиновой пластинкѣ и пропитанную растворомъ іодистаго потасія (при этомъ, вслѣдствіе разложенія іодистаго потассія, образуется вкругъ точки прикосновенія проволоки бурое пятно) съ химическимъ дѣйствіемъ, въ тѣхъ же условіяхъ, своего маленькаго элемента въ продолженіе трехъ секундъ, Фарадей нашелъ дѣйствія эти одинаковыми (пятна были одинаковой величины). Отсюда Фарадей вывелъ, какъ весьма вѣроятное, слѣдующее положеніе: *подобно магнитному дѣйствію и химическое дѣйствіе тока пропорціонально абсолютному количеству проходящаго электричества.*

нѣсколькихъ лѣтъ просвѣтить меня въ этомъ отношеніи. Наконецъ, благодаря его ходатайству, я вступилъ въ Королевскій Институтъ въ мартѣ 1813 года, въ качествѣ помощника препаратора, а въ слѣдующемъ октябрѣ сопровождалъ Деви за границу, какъ препараторъ и секретарь. Я возвратился въ Англію въ апрѣлѣ 1815 года и опять занялъ мое мѣсто въ Институтѣ, гдѣ и остался съ тѣхъ поръ." Когда Деви получилъ письмо Фарадея, онъ показалъ его одному изъ своихъ товарищей по Института, Пипису, говоря:" Вотъ письмо одного молодаго человѣка, по имени Фарадея, онъ слушалъ мои лекціи и проситъ дать ему мѣсто при Королевскомъ Институтѣ; что мнѣ сдѣлать?"—„Что сдѣлать? отвѣчалъ Пиписъ:—дать ему мыть стклянки; если онъ на что-нибудь годенъ, онъ сейчасъ примется за дѣло; если откажется, то ни къ чему негоденъ". Когда Фарадей получилъ извѣстность какъ химикъ, къ нему обращались фабриканты съ техническими вопросами, давая значительное вознагражденіе за трудъ. Такъ техническіе анализы, произведенные имъ въ 1830 году доставили ему приращеніе дохода въ тысячу фунтовъ и столько же въ 1831. Но въ 1832 году, когда эти, какъ онъ называлъ ихъ, „профессіональныя занятія" легко, по замѣчанію Тиндаля, могли доставить ему 5000 фунтовъ, они уменьшились до 155: Фарадей весь отдался ученымъ занятіямъ. Въ слѣдующіе годы этого рода доходы уменьшились еще болѣе; отъ 1839 до 1845 не превышали 22 фунтовъ, а съ 1845 и вовсе прекратились. „Принимая въ расчетъ продолжительность его жизни, можно сказать, замѣчаетъ Тиндаль, что этотъ сынъ кузнеца и подмастерье переплетчика долженъ былъ сдѣлать выборъ между состояніемъ въ 150.000 фунтовъ и скудною дарами наукой. Онъ выбралъ послѣднюю и остался бѣднякомъ." Прибавимъ что Фарадей принадлежалъ къ немногочисленному толку Гласситовъ (2000 во всей Англіи); былъ усерднымъ проповѣдникомъ и старшиной своей религіозной общины; неуклонно присутствовалъ при церковномъ служеніи и обычной Гласситамъ братской трапезѣ между двумя службами въ воскресенье.

Справедливость этого важнаго положенія была впослѣдствіи оправдана тщательными опытами другихъ испытателей. Для этой цѣли вводятъ въ цѣпь одновременно проволоку гальванометра и вольтаметръ, и пропуская такимъ образомъ чрезъ нихъ одинъ тотъ же токъ, а слѣдовательно одно и то же количество электричества, сравниваютъ показанія обоихъ измѣрительныхъ снарядовъ. Сравненія этого рода привели къ заключенію что показанія обоихъ снарядовъ согласны между собою.

Чтобы еще болѣе повѣрить мысль что опредѣленому количеству проходящаго электричества соотвѣтствуетъ опредѣленное химическое дѣйствіе, Фарадей вводилъ *въ одну цѣпь* нѣсколько вольтаметровъ, давая различную величину ихъ электродамъ, наполняя ихъ водою смѣшанною съ весьма различными количествами кислоты, и всегда находилъ что общій проходящій чрезъ нихъ токъ въ каждомъ выдѣлялъ одинакое количество газовъ.

Фарадей вводилъ далѣе въ одну цѣпь тѣла различнаго химическаго состава, разлагающіяся токомъ, и измѣрялъ количества выдѣлявшихся веществъ. Эти измѣренія привели къ замѣчательному результату, понятіе о которомъ можно получить изъ слѣдующаго опыта Фарадея. Онъ пропускалъ общій токъ чрезъ вольтаметръ *V* и чрезъ трубочку *A* съ хлористымъ оловомъ (фиг. 528) приведеннымъ въ расплавленное состояніе нагрѣ-



Фиг. 528.

ваніемъ на спиртовой лампѣ. Токъ входилъ въ хлористое олово чрезъ платиновую проволоку и выходилъ чрезъ другую впаянную чрезъ дно и оканчивавшеюся шарикомъ. Хлористое олово разлагалось на хлоръ; отдѣлявшійся при положительной проволокѣ, и олово, осѣдавшее на шарикѣ отрицательнаго электрода. Когда въ вольтаметрѣ собралось достаточное количество

газовъ, токъ былъ прерванъ, положительный электродъ удаленъ, и трубка охлаждена Затѣмъ ее разбивали; хлористое олово и стекло легко отставали отъ платины, и осѣвшее олово легко отдѣлялось отъ шарика. Оно промывалось и свѣшивалось. Оказалось, что когда въ вольтаметрѣ было собрано 3,85 куб. дюймовъ смѣси кислорода съ водородомъ, олова отложилось 3,2 грана. Но 3,85 куб. дюймовъ упомянутой смѣси вѣсятъ 0,49742 грана. Отношеніе этихъ чиселъ равно отношенію 58 къ 9. Но 58 есть число выражающее то что именуется химическимъ эквивалентомъ олова, 9 есть химическій эквивалентъ воды. Такимъ образомъ *данное количество электричества, проходя къ цѣпи составленной изъ разныхъ тѣлъ, разлагаетъ эти тѣла въ количествахъ химически эквивалентныхъ между собою.*

Замѣтимъ что при изученіи химическихъ дѣйствій въ цѣпи, какъ внѣ батареи такъ и внутри ея элементовъ, должно различать химическія явленія непосредственно связанныя съ движеніемъ электричества и подчиняющіяся сказаннымъ законамъ, отъ явленій второстепеннаго химическаго дѣйствія, зависящихъ отъ того что въ прикосновеніи могутъ находиться тѣла дѣйствующія одно на другое химически, независимо отъ электрическаго тока, то-есть еслибы цѣпь и не была замкнута. Такія независимыя отъ электричества дѣйствія могутъ быть какъ между тѣлами изъ которыхъ первоначально сложена цѣпь, такъ и между тѣлами вновь выдѣляемыми дѣйствіемъ тока. Еслибы, напримѣръ, вмѣсто амальгамированнаго цинка употреблять обыкновенный продажный, то часть его растворялась бы независимо отъ тока, ибо вода съ кислотой дѣйствуетъ на такой цинкъ въ случаѣ если цѣпь и не замкнута. Другой примѣръ. Введемъ въ общую цѣпь: гальваническую батарею, вольтаметръ, сосудъ съ мѣднымъ купоросомъ и платиновыми электродами, трубочку для разложенія хлористаго олова и сосудъ съ растворомъ сѣрнокислаго натра, въ который опущены платиновые электроды. Когда цѣпь замкнута, начинается разложеніе: на отрицательномъ электродѣ вольтаметра выдѣляется водородъ, на такомъ же электродѣ сосуда съ купоросомъ осѣдаетъ эквивалентное количество мѣди, въ трубкѣ съ хлористымъ оловомъ выдѣляется эквивалентъ олова и наконецъ въ сосудѣ съ сѣрнокислымъ натромъ во первыхъ водородъ, въ такомъ же количествѣ какъ въ вольтаметрѣ и во вторыхъ эквивалентъ натра; слѣдовательно *два* эквивалента, — повидимому, вопреки закону Фарадея. Явленіе объясняется тѣмъ что токъ выдѣляетъ на отрицательномъ электродѣ сосуда съ натромъ эквивалентъ металла *натрія*, но выдѣлившійся металлъ этотъ, находясь въ прикосновеніи съ водою, не можетъ остаться въ металлическомъ видѣ и, независимо отъ тока, разлагаетъ воду, выдѣляя эквивалентъ водорода и образуя эквивалентъ натра.

§ 374. Размышленія Ампера по поводу опыта Эрстеда, которыя породили электрическую теорію магнитныхъ явленій и привели къ открытію взаимнаго дѣйствія токовъ. „Первое размышленіе, говоритъ Амперъ *), какое я сдѣлалъ, когда хотѣлъ изыскать

---

*) Амперъ родился въ Ліонѣ въ 1775 году, рано обнаружилъ математическія способности, производя вычисленія помощію камушковъ и бобовъ, когда еще не зналъ цифръ и не умѣлъ ихъ писать; отличался жаждою къ чтенію и юношею прочелъ всю французскую *Энциклопедію XVIII вѣка*, сохранивъ въ памяти на всю жизнь множество подробностей изъ самыхъ разнообразныхъ отраслей знанія. Его отецъ, уважаемый негоціантъ, былъ казненъ въ 1793 году въ страшную эпоху террора. Пораженный Амперъ былъ цѣлый годъ въ состояніи близкомъ къ идіотизму. *Письма* Руссо о ботаникѣ и стихи Горація и Лицинія, попавшіеся подъ руку, вновь привлекли Ампера къ умственной дѣятельности; онъ предался одновременно изученію ботаники и поэтовъ времени Августа; *Corpus poetarum latinorum* сопровождалъ его въ ботаническихъ экскурсіяхъ вмѣстѣ съ сочиненіемъ Линнея. Въ 1796 году Амперъ женился, и въ семейномъ совѣтѣ былъ вопросъ заняться ли ему коммерціей или идти по ученому поприщу. Послѣднее мнѣніе восторжествовало; Амперъ скоро получилъ мѣсто преподавателя физики и химіи въ центральной школѣ въ Бургѣ, переѣхалъ туда, но по недостатку средствъ долженъ былъ жить врозь съ женой. Мемуаръ по теоріи вѣроятностей обратилъ вниманіе французскихъ математиковъ на Ампера; но когда за нимъ было обезпечено мѣсто въ Ліонѣ, его поразилъ тяжелый ударъ: смерть любимой жены. Въ 1804 году Амперъ вступилъ репетиторомъ въ Парижскую политехническую школу, гдѣ потомъ получилъ мѣсто профессора математики. Въ 1813 году Амперъ былъ избранъ въ Академію Наукъ на мѣсто скончавшагося Лагранжа. Великія изслѣдованія по электродинамикѣ относятся, какъ мы видѣли, къ двадцатымъ годамъ нынѣшняго столѣтія. Амперъ принималъ живѣйшее участіе въ спорѣ Кювье и Сентъ-Илера о единствѣ органическихъ существъ; много занималъ его также вопросъ о классификаціи наукъ. Амперъ скончался въ 1836 году. Заключимъ этотъ очеркъ параллелью между Амперомъ и Фарадеемъ набросанною секретаремъ Парижской Академіи Наукъ, Дюма.

„Амперъ былъ высокаго роста, меланхоличенъ, неловокъ въ движеніяхъ, медленен въ пріемахъ, почти слѣпъ: ему было трудно написать строчку, начертить правильно кругъ или квадратъ—просто невозможно. Его твердая память, укрѣпленная упражненіемъ, удерживала все: исторію, философію, зоологію,

причины новыхъ явленій открытыхъ Эрстедомъ, было слѣдующее. Такъ какъ порядокъ въ какомъ открыты факта, очевидно, не имѣетъ никакого значенія по отношенію къ слѣдствіямъ выводимымъ изъ

физику, химію, стихи французскихъ и латинскихъ классиковъ, мелкія подробности отличительныхъ признаковъ растеній по Жюссьё, животныхъ по Кювье. Его баснословная разсѣянность еще при жизни его стала легендой; онъ любилъ отдаваться потоку воображенія; всякая обязанность была ему въ тягость. Его ученая жизнь казалась оконченною, когда открытіе Эрстеда потрясло въ его превосходной умственной организаціи струны, о существованіи которыхъ не подозрѣвали никто, ни онъ самъ. Чтобы дать своей мысли матеріальную форму, онъ, столь неловкій, сдѣлался искуснѣйшимъ строителемъ инструментовъ; близорукій, онъ сдѣлалъ видимыми всѣмъ, для тѣлесныхъ очей и помощію яснѣйшихъ опытовъ, свойства матеріи, которыя одно размышленіе открыло его умственному глазу. Мечтатель былъ объятъ живымъ чувствомъ, и его внезапно воспарившее разумѣніе въ нѣсколько недѣль раскрыло новыя воззрѣніе на частичное строеніе магнитовъ, новые факты, предсказанные съ удивительною логикой и вполнѣ оправданные; наконецъ, законы, составляющіе кодексъ динамическаго электричества, освященный уже временемъ.

„Фарадей былъ средняго роста, живъ, взглядъ насторожѣ, движенія быстры и увѣренны, ловкость въ производствѣ опытовъ ни съ чѣмъ не сравнимая, точенъ, аккуратенъ, весь преданъ своимъ обязанносямъ. Когда въ молодости онъ былъ препараторомъ на лекціяхъ химіи въ Институтѣ, каждый опытъ, имъ произведенный, такъ соотвѣтствовалъ мысли и слову профессора, что про послѣдняго говорили: онъ преподаетъ по бархату. Когда въ концѣ жизни онъ покинулъ каѳедру и сдѣлался вновь слушателемъ, онъ слѣдилъ глазами за снарядами, надзирая за ихъ ходомъ, чтобъ ускорить или замедлять его, исправить каждый недостатокъ. какъ бы исполняя непринужденно должность естественнаго регулятора, отождествившагося съ мыслію преподавателя, Онъ жилъ въ своей лабораторіи, среди своихъ снарядовъ; онъ отправлялся туда утромъ и выходилъ оттуда вечеромъ, точный какъ негоціантъ, проводящій день въ своей конторѣ. Онъ посвятилъ всю свою жизнь на то, чтобы пробовать новые опыты, находя, что короче заставить говорить природу чѣмъ пытаться ее разгадать. Принужденный, вслѣдствіе своей невѣрной и неблагодарной памяти, отмѣчать и нумеровать факты, которые открывалъ, и идеи, которыя раждались въ его умѣ, онъ составлялъ имъ тщательныя таблицы, зная, что безъ этой предосторожности никакъ не найдетъ при случаѣ того что нужно. Фарадей, который не былъ математикомъ, былъ не такъ

аналогій этими фактами представляемыхъ, то мы въ правѣ предположить, что прежде чѣмъ сдѣлалось извѣстнымъ свойство магнитной стрѣлки направляться отъ юга на сѣверъ, было узнано ея свойство располагаться, подъ дѣйствіемъ тока, перпендикулярно къ его направленію, такъ что сѣверный полюсъ находится влѣво отъ тока; и что только потомъ уже было открыто ея свойство направляться къ сѣверу, именно этимъ самымъ влѣво перемѣщаемымъ концомъ. Простѣйшая мысль, какая въ такомъ случаѣ естественно

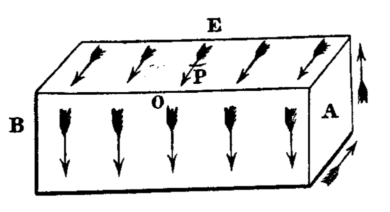
быстръ въ соображеніяхъ какъ Амперъ; его работа, основанная исключительно на опытѣ, была болѣе медленна, но, какъ и Амперъ, онъ поднимался до высшаго созерцанія природы, и, какъ Амперъ, открылъ цѣлую совокупность точныхъ фактовъ и неоспоримыхъ законовъ, навсегда связавшихъ его славное имя съ исторіей электро-магнетизма"...

„Амперъ и Фарадей оба имѣли поэтическую струну, открытое сердце и высокую душу. Они не знали ревности или зависти. Всякій свѣтъ наполнялъ ихъ радостью, приходилъ ли онъ изнутри или извнѣ, билъ ли ключомъ изъ ихъ мозга или изъ мозга соперника. Они были исполнены доброты и нѣжной благосклонности къ молодежи. Каждый успѣхъ счастливилъ ихъ. Они любили человѣчество и его величіе, чтили его характеръ и призваніе на землѣ. Глядѣли на себя какъ на орудія высшей воли, которой повиновались съ почтеніемъ; и если для тѣхъ, кому извѣстны лишь дѣла ихъ, — это геніи, гордость сыновъ человѣческихъ, то для знавшихъ ихъ лично — это самыя смиренныя и покорныя творенія Бога. Амперъ былъ универсаленъ. Одинъ изъ глубочайшихъ геометровъ своей эпохи, онъ любилъ разговаривать въ обществѣ, и когда его видѣли въ бесѣдѣ съ Жюсье, Кювье, Сентъ-Илеромъ, невольно говорили: онъ знаетъ все, онъ понимаетъ все, все проникаетъ. Фарадей былъ болѣе спеціаленъ: химикъ въ началѣ карьеры, онъ мало-по-малу отклонился къ изученію физики и сосредоточился на изученіи электричества. Болѣе преданный внѣшнему, онъ жилъ столько же чувствами, какъ и мыслію. Онъ не любилъ свѣтскихъ собраній, но театральныя зрѣлища привлекали его и наполняли какимъ то лихорадочнымъ опьяненіемъ. Закатъ солнца въ деревнѣ, буря на берегу моря, туманы въ Альпахъ возбуждали въ немъ живѣйшія ощущенія; онъ понималъ ихъ какъ живописецъ, бывалъ взволнованъ ими какъ поэтъ, разбиралъ ихъ какъ ученый. Взглядъ, слово, жестъ, все въ немъ свидѣтельствовало о тѣсномъ единеніи его души съ душою природы".

представилась бы тому кто захотѣлъ бы объяснить постоянное направленіе стрѣлки отъ юга къ сѣверу, не состояла ли бы въ томъ, чтобы предположить въ землѣ электрическій токъ направленный такъ что сѣверъ приходится влѣво отъ человѣка, который, лежа на ея поверхности съ лицомъ обращеннымъ къ стрѣлкѣ, принималъ бы токъ въ направленіи отъ ногъ къ головѣ; и заключить отсюда что токъ этотъ идетъ отъ востока къ западу перпендикулярно къ магнитному меридіану?“ Предположеніе о дѣйствительномъ существованіи такихъ токовъ въ землѣ, продолжаетъ Амперъ, значительно къ тому же вѣроятнѣе предположенія что земля по вещественному составу есть естественный магнитъ: прикосновеніе, химическія дѣйствія различныхъ веществъ составляющихъ толщу нашей планеты — достаточный источникъ разложенія электричествъ и образованія токовъ. Токи эти, связанные, повидимому, въ своемъ расположеніи, а можетъ быть и происхожденіи, съ обращеніемъ земли около оси, направляются въ каждомъ мѣстѣ отъ востока къ западу приблизительно по параллели этого мѣста; и въ общей совокупности дѣйствуютъ какъ одинъ главный экваторіальный поясъ токовъ.

„Но если, говоритъ Амперъ, электрическіе токи суть причина направляющаго дѣйствія земли на стрѣлку, то не въ нихъ ли должны мы искать причины дѣйствія и одного магнита на другой?“ Сравнивая, въ отношеніи магнитнаго дѣйствія, магнитъ съ землею, мы должны „разсматривать его (фиг. 529) какъ собраніе электрическихъ токовъ имѣющихъ мѣсто въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ его оси.“ Не трудно рѣшить какое должно быть направленіе этихъ токовъ. Еслибы мы мысленно замѣнили дѣйствіе земли дѣйствіемъ нѣкотораго магнита помѣщеннаго подъ магнитною стрѣлкою, то должны бы вообразить магнитъ этотъ такъ чтобы южный его полюсъ

приходился подъ сѣвернымъ полюсомъ стрѣлки. При такомъ положеніи магнита, если дѣйствіе его зави-



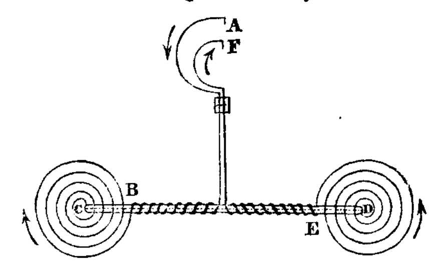
Фиг. 529.

ситъ отъ находящихся въ немъ электрическихъ токовъ, токи эти на его верхней поверхности должны слѣдовательно проходить въ томъ же направленіи какъ на землѣ, то-есть отъ востока къ западу, и соотвѣтственно этому направленію огибать магнитъ параллельными поясами. Это направленіе (фиг. 529) совпадаетъ съ направленіемъ стрѣлки часовъ для наблюдателя который помѣстился бы лицомъ своимъ къ *южному* полюсу B разсматриваемаго магнита. Наоборотъ по отношенія къ наблюдателю держащему предъ собою *сѣверный* полюсъ A магнита токи послѣдняго имѣютъ направленіе обратное съ направленіемъ стрѣлки часовъ.

Основываясь на своей теоріи, Амперъ думалъ искусственно подражать магниту, или по крайней мѣрѣ одному его слою перпендикулярному оси, и для того „изогнулъ спирально (фиг. 530) мѣдную проволоку и повѣсилъ ее помощію прямолинейныхъ ея концовъ, сообщавшихся съ полюсами гальванической батареи и заключенныхъ каждый въ стеклянной трубкѣ, дабы не касались между собою.“ Эта спираль, когда проходилъ чрезъ нее токъ, представляла собою какъ бы одно изъ сѣченій магнита перпендику-

Фиг 530.

лярныхъ къ оси. Одна сторона ея,—та гдѣ для смотрящаго на нее наблюдателя токъ идетъ по стрѣлкѣ часовъ,—должна обнаруживать южную магнитную полярность и слѣдовательно притягиваться сѣвернымъ полюсомъ перпендикулярно подносимаго къ ней магнита и отталкиваться южнымъ; другая сторона, обнаруживая сѣверную полярность, должна притягиваться южнымъ и отталкиваться сѣвернымъ полюсомъ магнита. Опытъ вполнѣ оправдалъ теоретическія положенія. Фиг. 531 изображаетъ удобное для опытовъ



Фиг. 531.

расположеніе спиралей Ампера, позволяющее повѣсить снарядъ на доставляющихъ токъ подставкахъ, которыя опишемъ въ слѣдующемъ параграфѣ. Обнаруживъ дѣйствіе магнита на спираль, Амперъ сдѣлалъ новый шагъ. Онъ замѣнилъ магнитъ другою спиралью и поднесъ ее параллельно первой. Между спиралями обнаружилось взаимное дѣйствіе: онѣ притягивались взаимно когда ихъ токи въ обѣихъ были направлены въ одну сторону, отталкивались, когда токи имѣли разное направленіе.

Какъ скоро было открыто это явленіе, оно сдѣлалось основаніемъ всѣхъ дальнѣйшихъ изслѣдованій, исходнымъ пунктомъ теоріи. Взаимное дѣйствіе токовъ, дѣйствіе тока на магнитъ, земли на магнитъ, взаимное дѣйствіе магнитовъ все это суть частные случаи этого основнаго явленія. Послѣдующія изысканія Ампера состояли отчасти въ подтвержденіи теоріи опытами, отчасти въ изысканіи точнаго закона взаимнаго дѣйствія двухъ элементовъ электрическихъ токовъ и математическомъ развитіи слѣдствій, вытекающихъ изъ этого закона. Въ засѣданіи 9 октября 1820 г. взаимное дѣйствіе токовъ было обнаружено Амперомъ надъ прямолинейными проводниками. Множество опытовъ и снарядовъ слѣдовали за этими первыми изысканіями. Изобрѣтеніе новыхъ снарядовъ для объясненія явленій электро-динамики (такъ назвалъ Амперъ часть физики трактующую о взаимномъ дѣйствіи токовъ между собою и съ магнитами) осталось страстью Ампера до конца жизни.

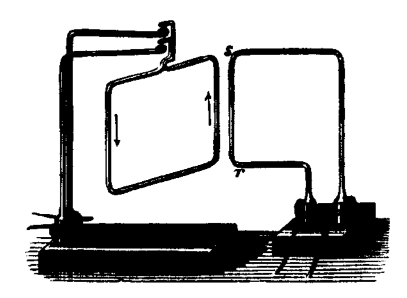
§ 375. **Взаимное дѣйствіе токовъ.** Открывъ явленіе взаимнаго дѣйствія токовъ помощію двухъ спирально согнутыхъ проволокъ, Амперъ привелъ опытъ къ простѣйшему случаю *прямолинейныхъ* подвижныхъ проводниковъ и доказалъ упомянутое основное положеніе:

Два параллельные тока идущіе въ одномъ направленіи притягиваются взаимно, идущіе въ разныхъ направленіяхъ отталкиваются.

Чтобъ обнаружить явленіе, должно по крайней мѣрѣ одинъ изъ проводниковъ устроить такъ чтобы онъ могъ перемѣщаться, не прерывая своего сообщенія съ батареею. Кромѣ того должно избѣгнуть дѣйствія на проводникъ частей соединяющихъ его съ батареею. Послѣднее достигается тѣмъ что проводникъ приводящій токъ въ подвижную проволоку и другой уводящій его, идутъ въ близкомъ разстояніи одинъ отъ другаго, такъ что одинъ уничтожаетъ дѣйствіе другаго (ибо токи направлены въ нихъ противоположно). Для доставленія подвижности проводнику употребляются различные способы. Фиг. 532 изображаетъ четвероугольный подвижной проводникъ, повѣшенный по одному изъ способовъ введенныхъ Амперомъ *). Согнутая четвероугольникомъ проволока имѣетъ небольшой перерывъ между концами и вѣшается помощію острія придѣланнаго къ одному изъ этихъ концевъ

*) Такой способъ привѣса былъ придуманъ Амперомъ первоначально для обнаруженія дѣйствія земли на токи.

и опирающагося на дно чашечки со ртутью, соединяющейся помощію своей поставки съ однимъ изъ по-

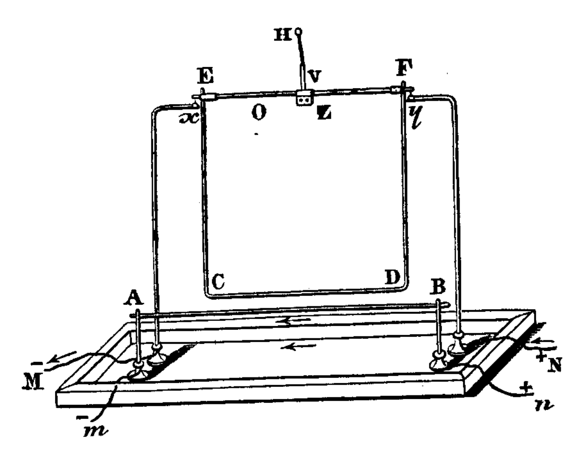


Фиг. 532.

люсовъ батареи; другой конецъ проволоки снабженъ также остріемъ и опускается, не касаясь дна, въ подобную же чашечку расположенную подъ первою и соединенную съ другимъ полюсомъ батареи. Такимъ образомъ сопротивленіе движенію четыреугольника вокругъ вертикальной оси сосредоточивается главнымъ образомъ въ треніи перваго острія о дно его чашечки. Вѣшая проволоку на нити такъ чтобъ оба острія только опускались въ ртуть, не касаясь дна чашечекъ расположенныхъ одна подъ другою на продолженномъ направленіи нити, можно еще увеличить подвижность снаряда. Поднося параллельно одной изъ вертикальныхъ вѣтвей четыреугольника, вѣтвь другой проволоки,—которая соединена концами съ другою батареею или введена въ общую цѣпь съ подвижною проволокою,—не трудно оправдать положенія Ампера.

Снарядъ какимъ первоначально пользовался Амперъ (фиг. 533) состоялъ изъ двухъ прямолинейныхъ проводниковъ: „одинъ, говоритъ Амперъ, помѣщался на двухъ подставкахъ въ горизонтальномъ положеніи и былъ неподвиженъ; другой прикрѣплялся своими вертикальными вѣтвями къ стеклянной оси покоющейся помощію двухъ стальныхъ остріевъ на металлическихъ подставкахъ; острія эти припаены къ концамъ только что упомянутыхъ металлическихъ вѣтвей проводника; такимъ образомъ

сообщеніе съ батареею устанавливается чрезъ подставки и острія. Имѣемъ слѣдовательно рядомъ два параллельныхъ проводника CD



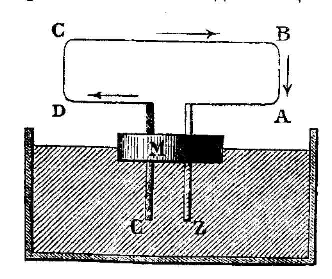
Фиг. 533.

и AB въ той же горизонтальной плоскости; изъ нихъ CD подвижный, могущій дѣлать качанія около горизонтальной линіи проходящей чрезъ концы стальныхъ остріевъ; въ своемъ движеніи онъ необходимо остается параллельнымъ неподвижному проводнику. Посрединѣ стеклянной оси помѣщается надъ нею противовѣсъ, чтобъ увеличить подвижность качающейся части снаряда, чрезъ повышеніе ея центра тяжести. Я думалъ было первоначально что въ два проводника токъ должно проводить отъ разныхъ батарей; но это не нужно: достачно чтобъ они составляли часть одной цѣпи."

О характеристическихъ чертахъ явленія Амперъ замѣчаетъ слѣдующее: „Эти притяженія и отталкиванія электрическихъ токовъ существенно разнятся отъ притяженій и отталкиваній какія производитъ электричество въ состояніи покоя. Во первыхъ они, подобно химическимъ разложеніямъ, прекращаются тотчасъ какъ скоро прерывается цѣпь. Во вторыхъ въ случаѣ обыкновенныхъ электрическихъ притяженій и отталкиваній, притягиваются разноименныя электричества, отталкиваются одноименныя; въ случаѣ притяженій и отталкиваній токовъ, напротивъ того, когда двѣ проводящія проволоки помѣщены параллельно такъ что одноименные концы ихъ находятся съ той же стороны и близко одинъ отъ другаго—происходитъ притяженіе; наоборотъ отталкиваніе обнаруживается когда токи идутъ въ противоположномъ направленіи и слѣдователь-

но одноименные концы проволокъ находятся на возможно дальнемъ между собою разстояніи. Въ третьихъ, въ случаѣ притяженія достаточно сильнаго чтобы сблизить подвижной проводникъ до прикосновенія съ неподвижнымъ, проводники эти остаются прилипшими одинъ къ другому какъ два магнита, и не удаляются тотчасъ одинъ отъ другаго какъ бываетъ когда прикасаются между собою два проводника притянувшіеся потому что одинъ былъ наэлектризованъ положительно, другой отрицательно. Наконецъ... токи притягиваются въ пустотѣ точно также какъ въ воздухѣ, что также не согласно съ тѣмъ что наблюдаемъ при взаимодѣйствіи двухъ проводниковъ наэлектризованныхъ обыкновеннымъ способомъ".

Весьма подвижной проводникъ, не требующій притокомъ отдѣльной батареи, есть такъ называемый *поплавокъ Деларива.* Дощечки мѣди и цинка соединенныя проволокой, вдѣланныя въ пробочный поплавокъ и опущенныя въ воду съ кислотой представляютъ подвижной замкнутый токъ проходящій въ проволокѣ по направленію отъ мѣди къ цинку (фиг. 534).



Фиг. 534.

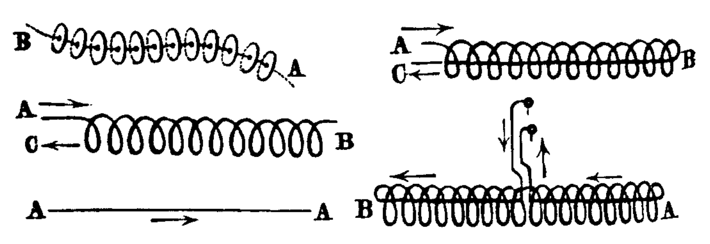
Нѣкоторые ученые хотѣли уменьшить значеніе Амперова открытія взаимнаго дѣйствія токовъ, находя что оно, какъ слѣдствіе, заключается уже въ опытѣ Эрстеда. Говорили: имѣемъ двѣ проволоки, чрезъ кокорыя проходятъ токи, всякая изъ этихъ проволокъ порознь дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку, слѣдовательно одна изъ нихъ должна дѣйствовать на другую. На это возраженіе отвѣтъ далъ Араго. Два куска желѣза порознь притягиваютъ магнитную стрѣлку, но развѣ они оказываютъ дѣйствіе одинъ на другой?

§ 376. Ученіе о соленоидѣ. Теорія магнетизма Ампера. Желая расположить проводящую токъ проволоку такъ чтобъ она служила подобіемъ не одного только слоя магнита, но цѣлаго магнита, Амперъ обвилъ проволоку улиткообразно вокругъ стеклянной трубки такъ чтобы обороты не касались одинъ другаго.

Обороты проволоки должны были представлять собою токи магнита расположенные перпендикулярно къ его оси; при этомъ Амперъ первоначально полагалъ что дѣйствіе переходовъ отъ одного оборота къ другому можетъ быть пренебрежено, если обороты сдѣланы близко между собою. Опытъ показалъ что устроенный такимъ образомъ снарядъ не представилъ подобія магнита и, при нѣкотомъ разстояніи, не отличался въ дѣйствіи отъ простаго прямолинейнаго тока. Амперъ скоро усмотрѣлъ что это происходитъ оттого что совокупность переходовъ отъ одного оборота къ другому образуетъ какъ бы одинъ прямолинейный токъ и слѣдовательно снарядъ есть какъ бы соединеніе ряда круговыхъ токовъ, перпендикулярныхъ къ оси и представляющихъ подобіе магнита (такую систему Амперъ назвалъ *соленоидомъ*), и прямолинейнаго тока параллельнаго оси. Но „если намотанную улиткообразно проволоку возвратить по оси чрезъ стеклянную трубку, то токъ прямолинейной части, направляясь въ противоположную сторону съ прямолинейнымъ токомъ представляющимъ параллельную оси часть дѣйствія проволоки, будетъ отталкивать то что этотъ притягиваетъ и притягивать что этотъ отталкиваетъ, и слѣдовательно сказанная часть дѣйствія уничтожается прямолинейнымъ проводникомъ, и останется только дѣйствіе круговыхъ токовъ перпендикулярныхъ оси, совершенно подобное дѣйствію магнита." Прибавимъ что нѣтъ надобности въ стеклянной трубкѣ на которую наматывалась бы проволока. Достаточно чтобы проволока эта была согнута надлежащимъ образомъ. Дабы не опасаться прикосновенія между собою ея частей, полезно чтобъ она была изолирована на поверхности (обмотана шелкомъ, покрыта шеллакомъ и т. под.).

Фиг 535. изображаетъ 1) *теоретическій соленоидъ*, т. е. рядъ отдѣльныхъ замкнутыхъ токовъ перпендикуляр-

ныхъ оси, 2) улиткообразно согнутую проволоку какою Амперъ первоначально думалъ подражать магниту и которая въ своемъ дѣйствіи была равносильна со-



Фиг. 535.

вокупности соленоида и прямолинейнаго тока *A,A* 3) проволоку согнутую такъ что вліяніе прямолинейной части уничтожено проведенною внутри вѣтвію и дѣйствующую потому какъ соленоидъ, 4) подобный же соленоидъ устроенный такъ что его удобно вѣшать на подставкѣ Ампера.

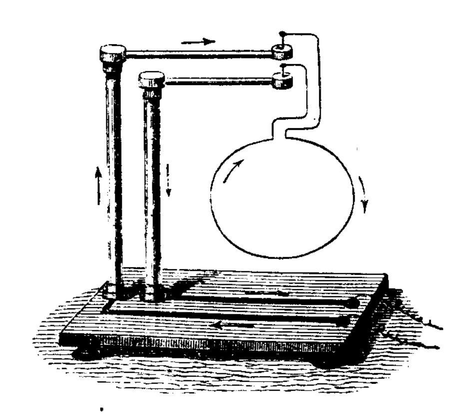
Дѣйствіе соленоида представляетъ полное подобіе съ дѣйствіемъ магнита. Подобно магниту соленоидъ имѣетъ два полюса притягиваемые разноименными отталкиваемые одноименными полюсами магнита или другаго соленоида. Отъ дѣйствія близь лежащаго тока соленоидъ отклоняется точно также какъ магнитъ въ опытѣ Эрстеда. Земной магнетизмъ также дѣйствуетъ на соленоидъ, но такъ какъ соленоидъ соотвѣтствуетъ магниту очень малой силы, то при обыкновенномъ устройствѣ соленоидъ, въ большинствѣ случаевъ, не бываетъ достаточно удобоподвиженъ чтобы повиноваться направляющему дѣйствію земли. Впрочемъ увеличивъ діаметръ оборотовъ и тщательно озаботившись относительно удобоподвижности, можно сдѣлать соленоидъ достаточно чувствительнымъ, такъ что онъ будетъ своею осью располагаться, подобно магниту, отъ сѣвера къ югу.

Не должно, впрочемъ, думать что токи въ дѣйствительномъ магнитѣ расположены именно такъ какъ указываютъ теорія соленоида и развитое въ § 375 сравненіе магнита съ тѣломъ на *поверхности* котораго проходятъ токи въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ оси. Простой фактъ что каждая частица отламываемая отъ магнита есть сама самостоятельный магнитъ уже опровергаетъ такое предположеніе Лишь въ приближенномъ теоретическомъ представленіи можно разсматривать магнитъ какъ тѣло на поверхности котораго, окружая его, пробѣгаютъ электрическіе токи. Въ дѣйствительности токи магнита, говоритъ Амперъ, „какъ все показываетъ, имѣютъ мѣсто около *частицъ* магнита", ибо каждая отдѣльная частица имѣетъ свойства цѣлаго магнита (магнитный элементъ § 317). Магнитъ есть совокупность частичныхъ токовъ расположенныхъ въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ оси.

Замѣнивъ въ разсужденіяхъ § 317 понятіе *магнитный элементъ* понятіемъ *элементарный или частичный токъ* получимъ представленіе о томъ что такое есть намагниченіе и магнитъ по электрической теоріи Ампера. Такіе токи присутствуютъ въ желѣзѣ и ненамагниченной стали, но расположены въ самыхъ разнообразныхъ направленіяхъ. Намагниченіе состоитъ въ томъ что элементарные токи эти въ значительномъ числѣ поворачиваются такъ что плоскости ихъ приближаются къ параллельности, самые же токи направлены въ одну сторону. (Ср. § 317).

§ 377. Дѣйствіе земли на токи. Земной шаръ оказывающій дѣйствіе на магнитную стрѣлку, долженъ, очевидно, дѣйствовать и на подвижные токи. „Въ первыхъ опытахъ, говоритъ Амперъ, мнѣ не удалось дѣйствіемъ земнаго шара привести въ движеніе проволоку проводящую токъ, и не столько, быть можетъ, вслѣдствіе трудности дать ей надлежащую подвижность, сколько потому что, вмѣсто того чтобъ искать, въ теоріи приводящей магнитныя явленія съ электрическимъ токамъ, расположеніе снаряда особенно благопріятное для этого рода дѣйствія, я былъ занятъ идеей провести токъ такъ чтобы по возможности подражать расположенію токовъ въ магнитѣ... Это помѣшало мнѣ принять въ надлежащее соображеніе... что непосредственное дѣйствіе

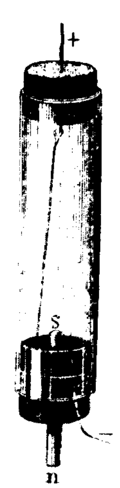
земли состоитъ въ томъ чтобы помѣстить плоскости перпендикулярныя оси магнита, въ которыхъ находятся токи, параллельно нѣкоторой плоскости опредѣляемой совокупнымъ дѣйстсіемъ токовъ земнаго шара и которая во всякомъ мѣстѣ перпендикулярна стрѣлкѣ наклоненія. Отсюда слѣдуетъ что земное дѣйствіе должно направлять непосредственно не прямую линію (ось магнита), а плоскость (перпендикулярную оси). Имѣя въ виду это обстоятельство, мы должны стараться подражать распредѣленію электричества по экватору магнитной стрѣлки (то-есть по плоскости проходящей чрезъ средину стрѣлки перпендикулярно ея оси)... и, расположивъ токъ такимъ образомъ, смотрѣть стремится ли земля привести его плоскость въ положеніе въ какое она стремится привести экваторъ магнита... Я заключилъ что самымъ простымъ образомъ обнаружу направляющее дѣйствіе земли, представивъ экваторъ магнитной стрѣлки въ формѣ одного тока образующаго кругъ, если и не совсѣмъ замкнутый, — тогда нельзя было бы пропустить тока,—то по крайней мѣрѣ имѣющаго лишь короткій перерывъ.“ Такой круговой токъ повѣшенный на подставкахъ Ампера (фиг. 536) располагается своею



Фиг. 536.

плоскостію перпендикулярно къ магнитному меридіану или направленію оси магнитной стрѣлки. Мы упоминали въ § 377 что дѣйствіе земли можно также обнаружить и помощію соленоида.

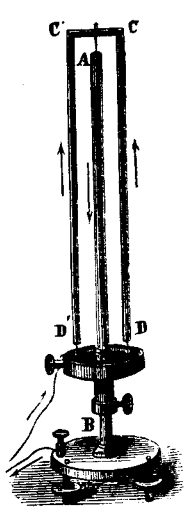
§ 378. Вращательныя движенія происходящія отъ дѣйствія магнита на токъ и тока на магнитъ. Протянувъ вертикально проволоку по которой шелъ токъ, Фарадей осторожно приближалъ къ ней магнитную стрѣлку и наблюдалъ какъ дѣйствуетъ токъ на близкомъ разстояніи на разныя части стрѣлки. Онъ пришелъ къ заключенію что если представить себѣ магнитную силу стрѣлки сосредоточенною въ ея полюсахъ, — воображая притомъ полюсы эти помѣщенными не на самыхъ концахъ стрѣлки, а на нѣкоторомъ разстояніи отъ концевъ, — то можно сказать что каждый полюсъ стрѣлки какъ бы стремится вращаться около проволоки, и притомъ одинъ въ одну, другой въ другую сторону. (Точнѣе взаимодѣйствіе полюса и прямолинейнаго тока выражается правиломъ, — относящимся собственно къ взаимодѣйствіи магнитной частицы и малаго элемента тока, — что токъ стремится выдвинуть частицу и, наоборотъ, частица стремится, въ противоположномъ направленіи, выдвинуть токъ изъ общей проведенной чрезъ нихъ плоскости). Фарадей заключилъ что еслибы было возможно подвергнуть дѣйствію тока одинъ изъ полюсовъ магнита (помѣстивъ другой такъ чтобы на него не было замѣтнаго дѣйствія) и дать этому магниту свободу вращательнаго движенія, то онъ сталъ бы двигаться, кружась около тока. Съ другой стороны, по закону дѣйствія равнаго противодѣйствію, вѣтвь тока, помѣщенная у одного изъ полюсовъ магнита и достаточно удобоподвижная, должна вращаться около этого полюса. Фарадей осуществилъ это послѣдніе дѣйствіе помощію снаряда, понятіе о которомъ дастъ фиг. 537. Стеклянная трубка закрывается сверху и снизу пробками. Чрезъ нижнюю пробку проходитъ магнитъ ns. На пробку наливаютъ ртути. Чрезъ верхнюю пробку проходитъ платиновая проволока загнутая кольцомъ, за которое зацѣпляется крючкомъ вторая платиновая проволока, погруженная концомъ въ ртуть. Соединяютъ одинъ полюсъ батареи съ верхнею проволокой, другой со ртутью (помощію проткнутой чрезъ нижнюю пробку проволоки или самого магнита. Какъ только чрезъ висящую проволоку пойдетъ токъ,



Фиг. 537.

она начинаетъ вращаться около полюса магнита въ томъ или другомъ направленіи (по стрѣлкѣ часовъ если полюсъ сѣверный и токъ идетъ снизу вверхъ, или если, при нисходящемъ токѣ полюсъ магнита есть южный: и наоборотъ). Фиг. 538, на слѣдующей страницѣ, изображаетъ болѣе удобное расположеніе того же опыта Одинъ изъ полюсовъ батареи напримѣръ положительный, приводится въ сообщеніе со ртутью; другой сообщается съ самымъ магнитомъ B, на которомъ держится сосудъ со ртутью, отдѣленный отъ него изолирующимъ слоемъ. На конецъ магнита A опирается остріемъ согнутая проволока $D'C'CD$, опускающаяся кончиками въ ртуть. Токъ изъ ртути

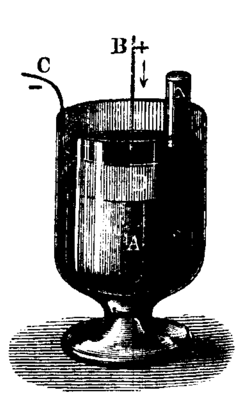
(соединенной, допускаемъ, съ положительнымъ полюсомъ батареи) идетъ въ вѣтви $D'C'$ и DC проволоки, далѣе чрезъ остріе въ магнитъ и къ батареѣ. Проволока приходитъ во вращеніе вокругъ верхняго полюса магнита.



Фиг. 538.

Вращеніе магнита около тока Фарадей осуществилъ слѣдующимъ образомъ- „Обременивъ, говоритъ онъ, платиновымъ грузомъ одинъ изъ концовъ маленькаго магнита, такъ чтобъ онъ могъ плавать въ ртути, имѣя другой конецъ поверхъ жидкости, — я сообщилъ ртуть съ полюсомъ гальванической батареи и погрузилъ конецъ проволоки, идущей отъ другаго полюса, вертикально въ ртуть въ весьма близкомъ разстояніи отъ плавающаго магнита. Верхній полюсъ магнита тотчасъ началъ вращаться около проволоки, тогда какъ нижній полюсъ, по своему удаленію, не могъ произвести противоположнаго дѣйствія". Фиг. 539 представляетъ этотъ опытъ Фарадея.

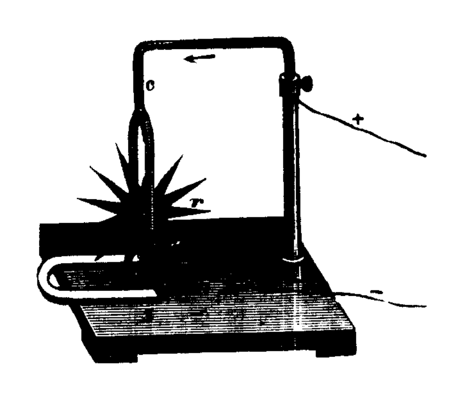
Уже Вульстенъ считалъ возможнымъ обратить замѣченное Эрстедомъ *отклоненіе* стрѣлки въ непрерывное *вращеніе* ея около проводника, искалъ достичь этого иа опытѣ и въ началѣ 1821 года пытался осуществить свою идею въ присутствіи сэръ-Гумфри Деви въ лабораторіи Королевскаго Института. Это и привлекло вниманіе къ предмету Фарадея бывшаго препараторомъ Деви.



Фиг. 539.

§ 379. Опытъ съ колесомъ Барлова. Вращательный снарядъ Марша. „Когда я повторялъ, пишетъ (1822) англійскій ученый Барловъ (Barlow), опыты Фарадея съ вращеніемъ (тока около магнита въ той формѣ какъ изображено на фиг. 537) одинъ молодой челоʹвѣкъ (Маршъ) который мнѣ помогалъ, хотѣлъ попробовать дѣйствіе подковообразнаго магнита на проводящую проволоку снаряда, висѣвшую свободно сверху, погружаясь нижнимъ концомъ въ ртуть. Проволока тотчасъ пришла въ быстрое колебаніе: она совсѣмъ выходила изъ ртути, потомъ, когда такимъ образомъ прикосновеніе было прервано, падала по собственной тяжести и т. д., пока продолжалось дѣйствіе тока". Это наблюденіе

повело Барлова къ устройству снаряда называемаго *колесомъ Барлова* и изображеннаго на фиг. 540. Токъ проходитъ чрезъ



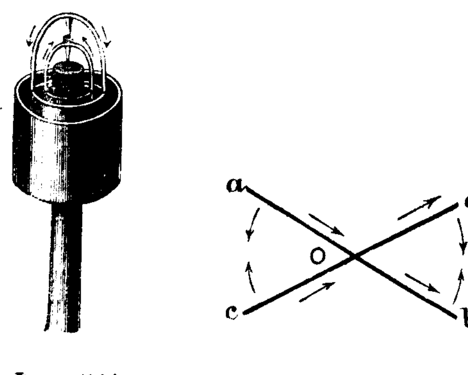
Фиг. 540.

металлическую подставку и мѣдное колесо съ зубцами и чрезъ
цего въ ртуть или воду съ кислотою наливаемыми въ узкій
сосудъ, соединенный съ батареей и помѣщенный между по-
люсами подковообразнаго магнита. Зубецъ колеса погружен-
ный въ ртуть представляетъ собою вертикальную вѣтвь тока,
помѣщенную между полюсами магнита. Согласнымъ дѣйстві-
емъ полюсовъ, вѣтвь эта выталкивается изъ вертикальной
плоскости проходящей чрезъ полюсы магнита и замѣщается,
при происшедшемъ движеніи колеса, слѣдующимъ зубцемъ и
т. д. Колесо приходитъ во вращеніе „съ такою быстротою что
глазъ не можетъ слѣдить за его движеніемъ".

Опытъ Барлова есть прямое подтвержденіе упомянутаго въ
предыдущемъ параграфѣ общаго начала, къ какому сводится
объясненіе всѣхъ опытовъ съ вращеніемъ токовъ около магни-
товъ и магнитовъ около токовъ; а именно что взаимное дѣйствіе
магнитной частицы или магнитнаго полюса и малаго элемента
тока направлено перпендикулярно къ плоскости проведен-
ной чрезъ эти элементъ и частицу: магнитная частица стре
мится выдвинуть элементъ изъ этой плоскости и, наоборотъ
элементъ тока стремится выдвинуть частицу, въ противуполо-
жную сторону.

Маршъ (Marsh), тотъ молодой мастеръ о которомъ упоми-
наетъ Барловъ) устроилъ (1822) весьма остроумный снарядъ
для показанія вращенія токовъ около полюса магнита. Сна-

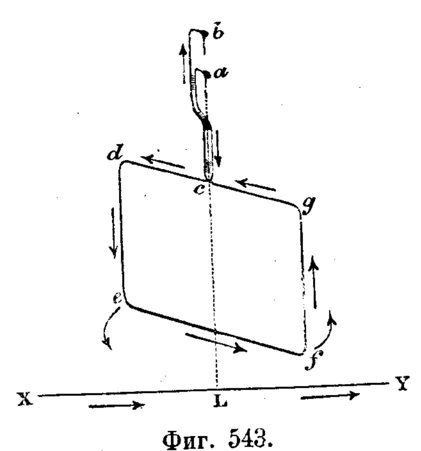
рядъ изображенъ на фиг. 541. Легкій мѣдный сосудъ цилиндрической формы съ двойными стѣнками вѣшается помощію острія и тонкой мѣдной дуги, какъ ведро помощію ручки, на концѣ магнита проходящаго чрезъ его пустую средину. Цинковый цилиндръ, держащійся помощію острія опирающагося на дно маленькой чашечки вверху дуги мѣднаго сосуда, погруженъ въ кислую воду налитую въ мѣдный сосудъ. Такимъ образомъ составляется гальваническій элементъ, мѣдная и цинковая части котораго могутъ, независимо одна отъ другой, вращаться вокругъ полюса магнита. Такое вращеніе дѣйствительно и замѣчается вслѣдствіе взаимнодѣйствія полюса и вѣтвей тока направляющагося отъ мѣди вверхъ къ острію держащему цинковый цилиндръ и нисходящему оттуда, чрезъ вѣтви дуги несущей цинкъ, къ этому послѣднему металлу. Сообразно направленію тока, мѣдный сосудъ и цинковый цилиндръ пріобрѣтаютъ противоположное движеніе и вращаются одинъ въ одну, другой въ другую сторону. Сосудъ, какъ болѣе тяжелое тѣло, вращается нѣсколько медленнѣе.



Фиг. 541. Фиг. 542.

§ 380. Вращеніе тока отъ дѣйствія другаго тока. Амперъ показалъ что можно произвести вращеніе вѣтви тока, безъ магнита, дѣйствіемъ другаго тока. Возможность такого явленія можно вывести какъ слѣдствіе изъ доказаннаго Амперомъ общаго закона дѣйствія двухъ прямолинейныхъ проводниковъ помѣщенныхъ подъ угломъ одинъ относительно другаго. Вѣтви въ которыхъ токи идутъ *приближаясь* къ вершинѣ угла или удаляясь отъ его вершины *притягиваются* между собою. Вѣтви въ одной изъ которыхъ токъ *приближается* къ вершинѣ угла, въ другой *удаляется* отъ нея *отталкиваются* взаимно. Такимъ

образомъ въ случаѣ изображенномъ на фиг. 542 вѣтви oa и o,c ob и od притягиваются, oa и od, oc и ob отталкиваются взаимно. Говоря объ углѣ образуемомъ токами, мы разумѣемъ не только тотъ случай когда токи находятся въ одной плоскости, но и тотъ когда они въ разныхъ плоскостяхъ. Только въ послѣднемъ случаѣ должно относить направленіе токовъ, вмѣсто вершины угла пересѣченія, къ линіи служащей кратчайшимъ разстояніемъ между токами. Фиг. 543 изображаетъ опытъ, по-

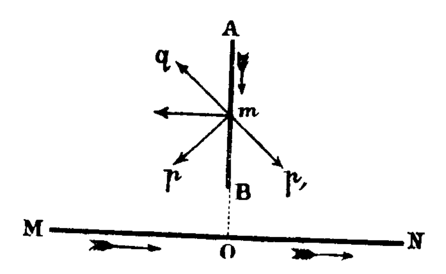


Фиг. 543.

мощію котораго можно оправдать законъ взаимнаго дѣйствія токовъ подъ угломъ. Подвижной токъ ef отъ дѣйствія неподвижнаго XY повернется какъ показано стрѣлками. Движеніе будетъ продолжаться пока проволока установится, имѣя токи направленными въ одну сторону.

Представимъ себѣ теперь что мы имѣемъ (фиг. 544) токъ неопредѣленной длины MN, горизонтально идущій по направленію отъ M къ N, и вѣтвь AB, въ которой, допустимъ, токъ идетъ сверху внизъ, отъ A къ B. Какое будетъ ихъ взаимное дѣйствіе? Часть OM горизонтальнаго тока притягиваетъ вѣтвь AB. Изобразимъ величину и направленія этого притяженія нѣкоторою линіею mp. Часть ON оказываетъ противуположное дѣйствіе: отталкиваетъ вѣтвь AB. Если бы токъ шелъ въ противуположномъ направленіи, то часть ON притягивала бы вѣтвь AB, и тогда направленіе притяженія изобразилось бы линіею mp_1 (образующею уголъ $Omp=Omp_1$) ибо правая часть ON во всемъ сходна съ лѣвой OM. Отталкивательное дѣйствіе должно происходить по той же линіи, но въ противуположномъ направленіи; слѣдовательно его должно изобразить линіею $mq=mp_1$. Соединяя силы mp и mq не трудно видѣть что совокупное ихъ дѣйствіе стре-

мится подвинуть вѣтвь влѣво то есть *противъ теченія* тока въ MN. Если точка A укрѣплена такъ что вѣтвь AB можетъ вра-



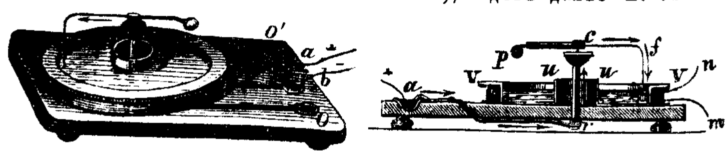
Фиг. 544.

щаться около нея какъ около центра, сила гонящая эту вѣтвь влѣво приведетъ ее во вращеніе.

Если бы, вмѣсто прямолинейнаго тока MN, мы взяли круговой огибающій точку A какъ центръ, то при всякомъ положеніи вѣтви AB, вѣтвь эта была бы перпендикулярна къ круговому току, и онъ дѣйствовалъ бы на нее какъ MN дѣйствуетъ на AB въ положеніи представленномъ на чертежѣ, то есть гоня эту вѣтвь постоянно въ одну сторону и слѣдов. сообщая ей непрерывное вращательное движеніе.

Всѣ эти вращенія, если бы не было никакихъ препятствій движенію, происходили бы съ постоянно возрастающею скоростію. Вслѣдствіе тренія, сопротивленія жидкихъ частей и пр., возрастаніе скорости продолжается недолго, и движеніе скоро дѣлается равномѣрнымъ.

Одна изъ формъ снаряда, помощію какого Амперъ осуществилъ на опытѣ указанный случай вращенія подвижной вѣтви тока отъ дѣйствія другаго тока, изображена на фиг. 545. Токъ отъ одного изъ полюсовъ батареи проходитъ въ столбикъ и чашечку несущія подвижную вѣтвь (удерживаемую помощію противовѣса p въ горизонтальномъ положеніи); идетъ далѣе по этой



Фиг. 545.

вѣтви въ ртуть (или воду) соединенную съ другимъ полюсомъ батареи и налитую въ жолобъ обмотанный проволокою. Чрезъ эту проволоку проходитъ токъ отъ другой батареи или отъ той же самой, если проволока введена въ общую цѣпь съ остальными частями снаряда.

§ 381. Намагниченіе дѣйствіемъ тока открытое Араго.

Въ сентябрѣ 1820 года Араго *) сообщилъ Парижской Академіи сдѣланное имъ новое важное открытіе въ области электро-магнетизма. „Проведя говоритъ онъ, отъ одного изъ полюсовъ вольтова столба довольно тонкую цилиндрическую мѣдную проволоку, я замѣтилъ что когда эта проволока была въ сообщеніи съ другимъ полюсомъ (слѣд. въ ней проходилъ токъ), она *притягивала желѣзныя опилки*, какъ еслибы была настоящимъ магнитомъ. Когда она погружалась въ опилки, онѣ приставали къ ней равномѣрно вокругъ, такъ что она чрезъ это прибавленіе получала діаметръ почти равный діаметру ствола обыкновеннаго пера. Какъ скоро проволока переставала быть въ сообщеніи заразъ съ обоими полюсами столба (т.-е. токъ не проходилъ въ нее болѣе), опилки отставали и падали **)... Я говорилъ о соединительной проволокѣ изъ мѣди; проволоки изъ серебра, платины и т. д. дали тѣ же результаты... Соединительная проволока мягкому же-

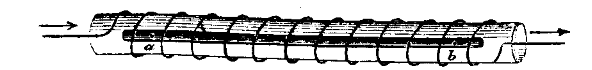
---

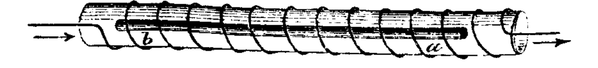
*) Араго, знаменитый французскій физикъ и астрономъ, родился въ 1786 году въ департаментѣ Восточныхъ Пиренеевъ; учился въ Парижской Политехнической школѣ, по выходѣ изъ которой былъ прикомандированъ къ обсерваторіи. Вмѣстѣ съ Біо въ 1806 году занимался измѣреніемъ дуги меридіана въ Испаніи. Застигнутый войною вернулся во Францію только послѣ многихъ приключеній и опасностей, когда его считали уже погибшимъ. Въ 1809, двадцати трехъ лѣтъ отъ роду, Араго былъ избранъ въ члены Парижской Академіи, занявъ кресло Лаланда; въ 1830 году онъ замѣстилъ Фурье въ должности секретаря Академіи. Славился какъ великій популяризаторъ и профессоръ. Какъ членъ палаты депутатовъ принималъ живое участіе въ политическихъ событіяхъ, принадлежа къ республиканской партіи, и въ 1848 году былъ членомъ временнаго правительства. Скончался въ 1853 году.

**) Тотъ же опытъ, немного спустя послѣ Араго и независимо отъ него, былъ произведенъ Деви, изслѣдовавшимъ кромѣ того намагниченіе иголки, помѣщенной перпендикулярно проволокѣ, чрезъ которую проходитъ разрядъ лейденской банки или батареи.

лѣзу сообщаетъ лишь временное намагниченіе; но если взять маленькіе кусочки стали, то ихъ можно намагнитить постояннымъ образомъ. Мнѣ удалось даже такимъ образомъ вполнѣ намагнитить швейную иголку.“ Когда Араго показалъ свои опыты Амперу, то „теоретическіе взгляды Ампера тотчасъ дали ему мысль что можно получить болѣе сильное намагниченіе если вмѣсто прямой проволоки взять проволоку согнутую улиткообразно и по оси ея помѣстить стальную иголку. Опытъ удался вполнѣ, и положеніе полюсовъ было вполнѣ согласно съ теоріею Ампера.“

Такимъ образомъ если токъ въ оборотахъ проволоки намотанной на стеклянную трубку, внутри которой находится намагничиваемая полоса, идетъ слѣва вправо (по стрѣлкѣ часовъ) относительно наблюдателя держащаго трубку (фиг. 546) отверстіемъ предъ собою, то въ ближайшемъ концѣ намагничиваемой полосы оказывается южный полюсъ; сѣверный—въ случаѣ если токъ идетъ противъ стрѣлки часовъ. Такъ, намагничиваемая полоса въ верхней трубкѣ (фиг. 546) пріобрѣтаетъ въ правомъ концѣ южный, въ лѣвомъ сѣверный полюсъ; въ нижней наоборотъ.

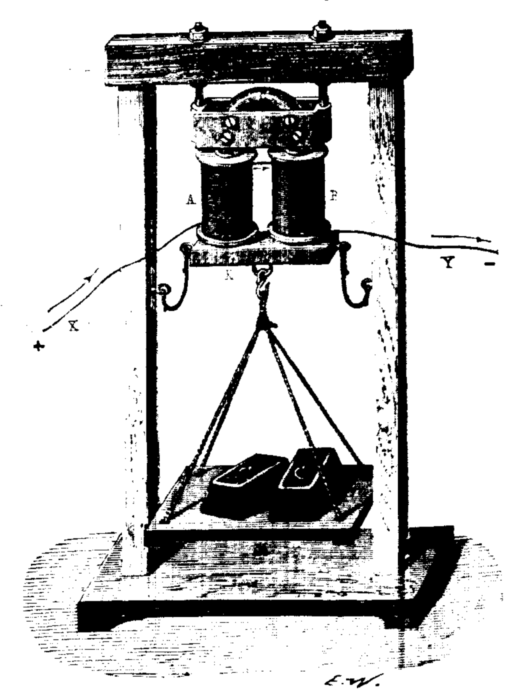




Фиг. 546.

Если, вмѣсто стальной полосы, возьмемъ полосу мягкаго желѣза, и обмотаемъ ее изолированною проволокой, то получимъ снарядъ именуемый *электромагнитомъ*. Обыкновенно желѣзу даютъ подковообразную форму (фиг. 547) и обматываютъ изолированною проволокой его концы, дѣлая обороты при одномъ изъ нихъ по направленію стрѣлки часовъ, при другомъ наоборотъ, относительно наблюдателя воображаемаго предъ этими концами. Когда токъ проходитъ чрезъ проволоку, желѣзо становится сильнымъ магнитомъ; оно утрачиваетъ магнетизмъ какъ только токъ прерванъ. Магниты такого рода могутъ быть доведены до чрезвычайной силы и въ состояніи держать грузъ болѣе 1000 килограммовъ.

Первые электро-магниты изъ мягкаго желѣза обмотаннаго проволокою были сдѣланы Стюрджономъ (Sturgeon) въ Англіи около 1825 года. Электромагниты первоначальной конструкціи были слабы и держали не болѣе 10 фунтовъ. Первые сильные электромагниты были сдѣланы профессоромъ Молемъ въ

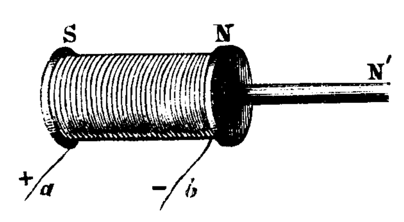


Фиг. 547.

Утрехтѣ въ 1828 году и могли держать до 80 фунтовъ. Магнитъ устроенный Маршемъ (1830) для Королевскаго Института въ Лондонѣ держалъ, при достаточно сильномъ токѣ, уже болѣе 500 фунтовъ. Затѣмъ исполинскіе магниты устроивались въ тридцатыхъ годахъ въ Америкѣ (Henry и Ten Eyck); они держали до 2600 фунтовъ.

Желѣзо электромагнита, по прекращеніи тока, еще удерживаетъ нѣкоторую степень намагниченія, если якорь оставленъ при концахъ (остаточный магнетизмъ). Чтобъ оторвать его, требуется болѣе или менѣе значительное усиліе. Разъ оторванный, онъ не притягивается болѣе.

Если въ каналъ сдѣланный по оси катушки, на которой намотана проволока (фиг. 548) ввести часть полосы мягкаго желѣза и соединить концы проволоки съ полюсами батареи, то какъ только замкнется токъ,—желѣзо будетъ съ большою



Фиг. 548.

силою притянуто внутрь катушки. Явленіе объясняется намагниченіемъ желѣза, причемъ токи обнаруживающіеся, вслѣдствіе намагниченія, имѣютъ въ желѣзѣ одинакое направленіе съ токомъ многими оборотами огибающимъ катушку, и слѣдовательно между ними обнаруживается притяженіе. Другими словами, катушка возбуждаетъ въ ближайшемъ къ ней концѣ желѣза полюсъ противоположный съ ея магнитнымъ полюсомъ N, въ отдаленномъ концѣ N' желѣза—полюсъ одноименный съ N.

§ 382. Явленія діамагнетизма открытыя Фарадеемъ. Пользуясь сильнымъ электромагнитомъ, Фарадей сдѣлалъ въ 1845 году замѣчательное открытіе.*) Онъ по-

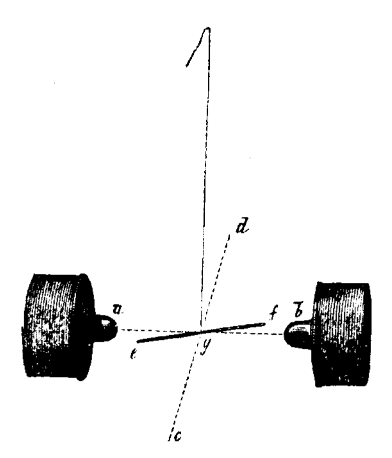
*) Открытіе діамагнатизма сопровождало сдѣланное Фарадеемъ въ 1845 году открытіе связи явленій магнетизма и свѣта. „Давно уже, говоритъ онъ, я, вмѣстѣ съ нѣкоторыми другими друзьями науки, держался мнѣнія, почти обратившагося въ

казалъ что сильный магнитъ дѣйствуетъ на всѣ тѣла природы, но двоякимъ образомъ: притягивая одни, отталкивая другія.

убѣжденіе, что различныя формы, подъ какими являются намъ силы природы, имѣютъ общее происхожденіе. Я думаю, другими словами, что силы эти имѣютъ прямыя соотношенія между собой, что онѣ могутъ въ нѣкоторомъ смыслѣ превращаться однѣ въ другія и въ своемъ дѣйствіи представляютъ эквивалентныя отношенія. Въ послѣднее время накопилось очень много доказательствъ такой преобразуемости силъ, и начали опредѣлять ихъ эквиваленты." Это убѣжденіе Фарадей распространилъ и на силу свѣта и сдѣлалъ не мало попытокъ открыть прямое соотношеніе между свѣтомъ и электричествомъ. Результаты получились отрицательные; но они „не могли, прибавляетъ Фарадей, разрушить убѣжденія, основаннаго на философскихъ соображеніяхъ". Послѣ сотни опытовъ передѣланныхъ съ различными тѣлами, Фарадей сдѣлалъ опытъ съ такъ называемымъ тяжелымъ флинтомъ, стекломъ въ составъ котораго входитъ борнокислый свинецъ и которое Фарадей приготовилъ около 1830 года, когда занимался вопросомъ объ усовершенствованіи матеріала для оптическихъ стеколъ. Это стекло дало замѣчательные результаты. Оказалось что подъ вліяніемъ сильнаго магнита оно пріобрѣтаетъ такія свойства какія имѣетъ кварцъ въ природѣ (способность поворачивать плоскость поляризаціи проходящаго луча свѣта). Магнитныя силы способны, слѣдовательно, измѣнять оптическія свойства тѣлъ.

„Нѣтъ сомнѣнія, разсуждалъ далѣе Фарадей, что магнитныя силы дѣйствуютъ на внутреннее строеніе *діамагнитныхъ тѣлъ* (такъ наименовалъ Фарадей тѣла не подверженныя дѣйствію магнита въ обыкновенномъ смыслѣ: чрезъ которыя магнитъ дѣйствуетъ какъ чрезъ пустоту) и производятъ въ нихъ измѣненія одинаково свободно въ темнотѣ и при прохожденіи луча свѣта, хотя явленія производимыя свѣтомъ доселѣ, повидимому, единственное средство наблюдать это строеніе и эти измѣненія. Далѣе, эти измѣненія должны происходить точно также въ непрозрачныхъ тѣлахъ, каковы: дерево, камень, металлъ, какъ и въ прозрачныхъ, ибо качества діамагнитныхъ непрозрачныхъ тѣлъ не должны разниться отъ прозрачныхъ". Какое же измѣненіе претерпѣваютъ немагнитныя тѣла подъ вліяніемъ магнита? Чтобы найти слѣдъ такого измѣненія, Фарадей дѣлалъ много опытовъ. Онъ помѣщалъ значительныя массы тяжелаго стекла между магнитомъ и магнитною стрѣлкой и не нашелъ никакой разницы въ дѣйствіи сравнительно съ тѣмъ случаемъ, когда между магнитомъ и стрѣлкой былъ воздухъ, хотя употреблялъ самые чувствительные пріемы наблюденія. Онъ помѣщалъ, далѣе, близь магнита, воду, спиртъ, ртуть и другія жидкости въ большихъ сосудахъ, окан-

Между полюсами очень сильнаго электромагнита онъ повѣсилъ (фиг. 549) палочку тяжелаго стекла



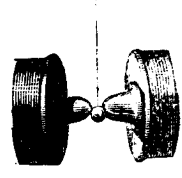
Фиг. 549.

(флинтъ Фарадея), дюйма въ два длиной, такъ что она свободно могла обращаться въ горизонтальной

чивавшихся термометрическими трубками, но не могъ открыть никакой разницы въ объемѣ жидкостей „при прохожденіи чрезъ нихъ магнитныхъ кривыхъ.“ „Еслибы, замѣчаетъ онъ о діамагнитныхъ тѣлахъ, магнитныя силы обращали эти тѣла въ магниты, то мы могли бы помощію свѣта изучить прозрачный магнитъ, и это было бы важное пособіе при изученіи силъ матеріи. Но, какъ видимъ, тѣла эти не дѣлаются магнитами, и слѣдовательно ихъ состояніе должно специфически отличаться отъ состоянія намагниченнаго желѣза и подобныхъ ему тѣлъ: оно должно представлять *новое магнитное состояніе*“.

Не останавливаясь предъ неудачами, Фарадей не терялъ надежды обнаружить это *новое состояніе*, и наконецъ дѣйствительно открылъ его неожиданныя свойства и цѣлую новую область явленій, за которою утвердилъ имя *діамагнетизма*. Онъ обязанъ удачей отчасти тому, что употреблялъ въ дѣло очень сильные электомагниты. Настойчиво преслѣдуя возникшую мысль, Фарадей обыкновенно не оставлялъ испытанія, пока не употребитъ въ дѣло всю возможную силу снарядовъ. Такъ поступилъ онъ и въ этомъ случаѣ и замѣтилъ новое, неожиданное явленіе: *отталкивательное* дѣйствіе магнита на діамагнитныя тѣла.

плоскости *). Пока токъ не былъ замкнутъ, она устанавливалась въ случайномъ направленіи, въ зависимости отъ крученія нити. Но какъ скоро токъ былъ замкнутъ, и снарядъ получилъ магнитную силу, палочка немедленно пришла въ движеніе и перемѣстилась въ положеніе на крестъ съ *осью*, то-есть линіею соединяющей полюсы. Такое положеніе палочки (означенное на чертежѣ буквами *cd*) перпендикулярное къ *осевому* (означенному буквами *ab*) Фарадей наименовалъ *экваторіальнымъ* положеніемъ. Еслибы палочка была изъ вещества, притягиваемаго магнитомъ, она помѣстилась бы своею длиной въ осевомъ направленіи, отъ полюса въ полюсу. Тяжелое стекло не протягивается, слѣдовательно, магнитомъ. Повѣсивъ, далѣе, палочку такъ, что центръ ея былъ ближе къ оному полюсу чѣмъ къ другому, Фарадей, замкнувъ токъ, нашелъ, что она, какъ и въ первомъ опытѣ, пришла въ движеніе — помѣстилась экваторіально, — но вмѣстѣ съ тѣмъ онъ замѣтилъ, что центръ ея *удалился* нѣсколько отъ ближайшаго полюса: тяжелое стекло, слѣдовательно, *отталкивается* магнитомъ. Фарадей разнообразилъ опыты, изучалъ различныя тѣла, нашелъ, что *висмутъ* обнаруживаетъ діамагнитное отталкиваніе еще въ значительнѣйшей степени чѣмъ тяжелое стекло **). Такъ висмутовый шарикъ (фиг. 550) повѣшенный у полюсовъ сильнаго электромагнита и слегка касающійся ихъ пока токъ не замкнутъ, явственно ими и устанавливается на нѣкоторомъ разстояніи; *отталкивается* какъ скоро токъ замкнутъ. Вообще, какъ уже упомянуто, Фарадей пришелъ къ за-



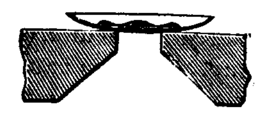
Фиг. 550.

*) Самый электромагнитъ (по системѣ Румкорфа) могущій служить для повторенія діамагнитныхъ опытовъ изображенъ ниже на стр. 673 фиг. 553.

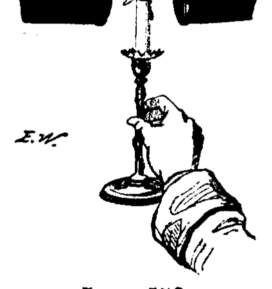
**) Отталкиваніе висмута, какъ единичный фактъ не обращав-

ключенію, что всѣ тѣла природы раздѣляются на два разряда: одни *магнитныя,* какъ желѣзо, притягиваются магнитомъ, другія *діамагнитныя*—и это большинство тѣлъ природъ, — имъ отталкиваются.

Къ тѣламъ магнитнымъ кромѣ желѣза, никкеля и кобальта принадлежатъ платина, палладій, осмій и нѣкоторыя другія. Остальные металлы діамагнитны, въ особенности висмутъ, сюрьма, цинкъ, олово. Сѣра, фосфоръ, уголь, дерево, вообще органическія вещества также діамагнитны. „Любопытно, говоритъ Фарндей, проглядѣть списокъ тѣлъ, обладающихъ этимъ замѣчательнымъ свойствомъ, и странно встрѣтить кусокъ дерева, мяса, яблоко въ числѣ тѣлъ повинующихся магниту и имъ отталкиваемыхъ. Еслибы можно было между полюсами магнита помѣстить съ достаточною тщательностію человѣка въ висящемъ положеніи, по способу Дюфе, то человѣкъ этотъ принялъ бы экваторіальное положеніе, ибо всѣ вещества, его составляющія, включая кровь, обладаютъ этимъ свойствомъ.“



Фиг. 551.



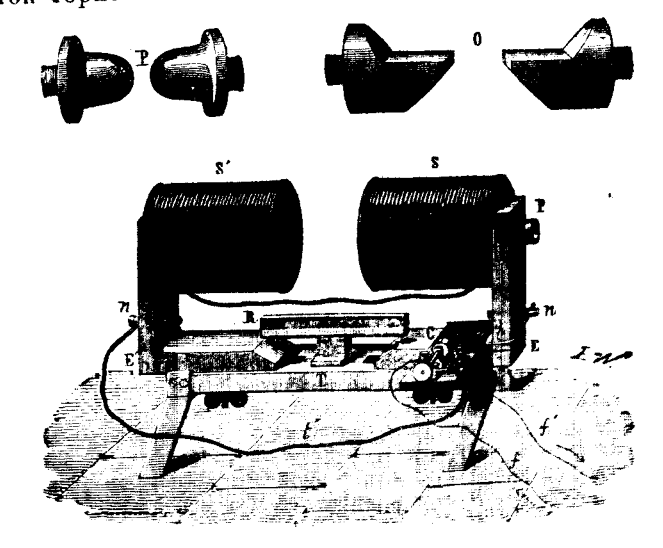
Фиг. 552.

Чтобъ изучать магнитныя свойства жидкостей, ихъ помѣщаютъ тонкимъ слоемъ на часовомъ стеклѣ, ко-

шій на себя особаго вниманія, было извѣстно еще до Фарадея. Голландскій ученый Бругманъ (1778) замѣтилъ что большой кусокъ висмута (также сюрьмы) отталкиваетъ оба полюса стрѣлки.

торое ставится на плоскую оправу полюсовъ. Если жидкость магнитна, то при полюсяхъ образуются холмообразныя возвышенія (фиг. 550). Въ случаѣ діамагнитной жидкости при полюсахъ образуются углубленія (фиг. 551). Дѣйствіе на газы первый замѣтилъ италіянскій ученый Банкаляри, показавшій что пламя свѣчи (фиг. 552) отталкивается полюсами магнита. Фарадей нашелъ что кислородъ есть тѣло замѣтно магнитное, занимающее между газами мѣсто подобное тому какое желѣзо занимаетъ между твердыми тѣлами. Другіе газы, въ особенности водородъ, діамагнитны.

Фиг. 553 изображаетъ сильный электромагнитъ въ той формѣ какая дана ему Румкорфомъ (извѣстнымъ



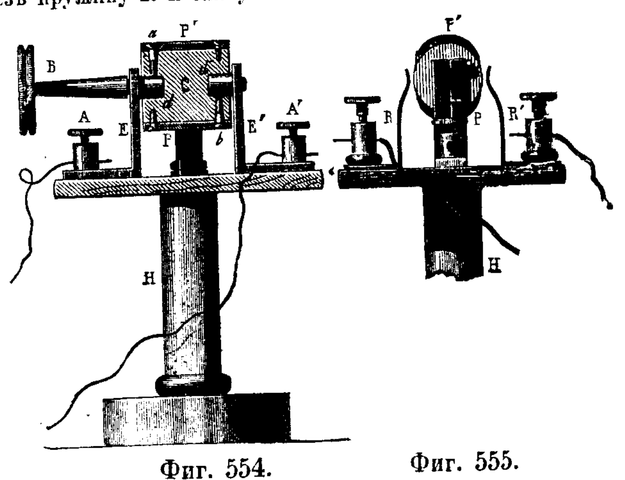
Фиг. 553.

строителемъ физическихъ инструментовъ въ Парижѣ) съ цѣлью повторенія опытовъ Фарадея надъ діамагнитными тѣлами и надъ измѣненіемъ оптическихъ

свойствъ прозрачныхъ тѣлъ подъ вліяніемъ магнетизма. Два желѣзныхъ цилиндра много разъ обмотанные изолированною мѣдною проволокой образуютъ катушки или *бобины* S и S' горизонтально расположенныя на желѣзномъ станкѣ служащемъ оправою магнита. Для діамагнитныхъ опытовъ свободные концы бобинъ снабжаются желѣзными кусками играющими роль полюсовъ (они изображены отдѣльно въ верху фиг. 553). Имъ дается различная форма, смотря по цѣлямъ опыта (они плоскіе, напримѣръ, для изслѣдованія магнетизма жидкихъ тѣлъ). Для оптическихъ опытовъ эти куски снимаются, и лучъ свѣта пропускается вдоль всего снаряда чрезъ каналъ, сдѣланный по оси желѣзныхъ цилиндровъ составляющихъ магнитное ядро бобинъ. Прозрачное тѣло ставится въ пространствѣ между полюсами; наблюдатель помѣщается при концѣ противоположномъ съ тѣмъ откуда идетъ свѣтъ.

Токъ можетъ быть замкнутъ, прерванъ, измѣненъ въ направленіи помощію весьма простаго *коммутатора* (C на фиг. 553) употребляемаго во многихъ снарядахъ и который не безполезно изобразить отдѣльно. Онъ состоитъ изъ непроводящаго цилиндра C (фиг. 554) поддерживаемаго металлическими столбиками E и E' и обращающагося на оси. На цилиндрѣ наложены металлическія бляхи P и P' изолированныя одна отъ другой и прикрѣпленныя къ цилиндру каждая двумя винтами, однимъ длиннымъ, другимъ короткимъ. Длинный винтъ a бляхи P' касается металлической цапфы d, длинный винтъ b бляхи P—цапфы d'. Клемма A сообщающаяся, чрезъ столбикъ E, цапфу d и длинный винтъ a съ бляхою P' соединена съ однимъ полюсомъ батареи, напримѣръ, съ положительнымъ; клемма A' сообщающаяся съ бляхою P соединена съ другимъ полюсомъ батареи. Повернувъ цилиндръ помощію рукоятки B, можно бляхи P и P' привести въ прикосновеніе съ пружинами R и R', сообщающимися помощію другой пары клеммъ, изображенныхъ на фиг. 555, съ снарядомъ, въ который пропускается токъ (на фиг. 555 цилиндръ изображенъ въ положеніи когда бляхи не касаются пружинъ, и токъ разомкнутъ). Если цилиндръ повернуть такъ что бляха P' касается пружины R, то токъ, пройдя чрезъ клемму A, столбикъ E, цапфу d, длинный винтъ a и бляху P', вступитъ въ пружину R, изъ нея въ снарядъ; изъ снаряда — въ клемму пружины R' касающейся бляхи P; изъ бляхи P, чрезъ длинный винтъ b, столбикъ

E и клему A'—къ отрицательному полюсу батареи. Если пружины R, касается бляха P, то направленіе тока въ снарядѣ будетъ противоположное съ первымъ случаемъ: токъ проникнетъ въ снарядъ чрезъ бляху P' и пружину R', а вернется чрезъ пружину R и бляху P.



Фиг. 554. Фиг. 555.

Удовлетворительнаго объясненія явленій діамагнетизма еще нѣтъ. Многіе держатся слѣдующей теоріи выраженной Жаменомъ (авторомъ извѣстнаго курса физики) въ такой формѣ:

„Извѣстно, что если поднести кусокъ желѣза къ полюсу магнита, то на концѣ этого куска обнаруживается магнитный полюсъ противоположный съ полюсомъ магнита и имъ притягиваемый. Діамагнетизмъ происходитъ отъ противоположнаго дѣйствія: образуется не противоположный, а одноименный полюсъ. Вотъ почему діамагнитное тѣло отталкивается. Это доказываютъ, помѣщая полосу висмута въ спираль пробѣгаемую токомъ и приближая магнитную стрѣлку. Убѣждаются что полоса висмута получила магнетизмъ противоположный съ тѣмъ какой пріобрѣло бы желѣзо въ тѣхъ же условіяхъ. Эти факты кажутся въ противорѣчіи съ теоріею Ампера, которая такимъ образомъ потеряла бы свою общность. Мы покажемъ что это противорѣчіе не такъ радикально какъ кажется. Дѣйствительно, Фарадей показалъ что природа окружающей среды можетъ совершенно измѣнить свойства тѣла. Такъ, трубка содержащая растворъ сѣрнокислаго желѣза оказывается въ воздухѣ магнитною; она еще болѣе магнитна въ водѣ или спиртѣ, но она становится діамагнитною въ растворѣ сѣрнокислаго желѣза болѣе концентрированномъ чѣмъ содержимый ею. Это объясняется принципомъ Архимеда. Помѣстимъ въ сосѣдствѣ магнита со-

судъ наполненный жидкостiю: она не испытываетъ никакого движенiя. Но отдѣлимъ мысленно нѣкоторую массу внутри ея: на массу эту дѣйствуетъ полюсъ съ силою f, положительною или отрицательною, смотря по тому магнитна эта масса или дiамагнитна; а такъ какъ она не перемѣщается, то необходимо чтобы среда ее окружающая оказывала на нее давленiе $-f$ равное и противоположное f. Замѣнимъ теперь эту отдѣленную нами массу другою ограниченною тою же поверхностiю, но другихъ свойствъ. Она будетъ испытывать со стороны магнита иное дѣйствiе f', положительное или отрицательное, а со стороны жидкости то же давленiе $-f$. Ихъ равнодѣйствующая будтъ $f'-f$. Слѣдовательно дѣйствiе полюса магнита на тѣло погруженное въ жидкую среду равно разности дѣйствiй какiя онъ оказываетъ отдѣльно на тѣло и на вытѣсняемую этимъ тѣломъ жидкость. Когда среда магнитна, f положительно, и $f'-f$ стремится быть отрицательнымъ; тѣло слѣдовательно стремится стать дiамагнитнымъ. Наоборотъ, въ дiамагнитной средѣ, f отрицательно: тѣло стремится стать магнитнымъ. Но всѣ тѣла природы погружены въ эѳиръ, и эта среда, передающая свѣтъ и притяженiе, имѣющая массу, очень можетъ быть магнитною. Вообще мы должны или допустить что законъ Ампера имѣетъ лишь очень частное значенiе и не объяснять дiамагнетизма, или допустить общность этого закона и приписать эѳиру магнитное свойство: возможность дiамагнетизма тогда предвидится. Эд. Беккерель допустилъ, и полагаю основательно, это послѣдне рѣшенiе.“

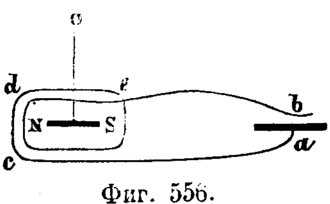
V. Термо-электрическiя явленiя.

§ 383. Изучая въ 1821 году магнитныя дѣйствiя гальваническихъ цѣпей изъ разныхъ металловъ и жидкостей, „я наткнулся, говоритъ Зебекъ *), на явленiя, свидѣтельствующiя, казалось мнѣ, что два металла соединенные въ гальваническiй кругъ могутъ *одни*, безъ всякаго содѣйствiя мокраго проводника, произвести токъ“ **).

*) Зебекъ (Seebeck), сынъ богатаго ревельскаго купца родился въ 1770 году; первоначально учился въ мѣстной гимназiи, а съ 17-лѣтняго возраста, по смерти отца, переселился въ Германiю. Въ Берлинѣ занимался медициною, но скоро оставилъ ее и предался физическимъ, изслѣдованiямъ живя частнымъ человѣкомъ. Въ 1802 году поселился въ Iенѣ, былъ близокъ съ Гете. Съ 1818 членъ Берлинской Академiи наукъ. Умеръ въ 1831 году отъ болѣзни сердца, на 62 году отъ рожденiя.

**) „Сдѣлаться магнитными“ какъ собственно выражается Зебекъ, наименовавшiй открытыя имъ явленiя *термо-магнетизмомъ*,

Чтобы осуществить свою мысль, Зебекъ избралъ для первыхъ опытовъ, мѣдь, которую связывалъ съ висмутомъ или сюрьмой. Первоначально ему не приходило еще на мысль произвести „неравенство въ состоянiи пунктовъ прикосновенiя“,—помощiю нагрѣванiя одного изъ этихъ пунктовъ. Онъ просто положилъ (фиг. 556) на конецъ a мѣдной лентообразной прово-

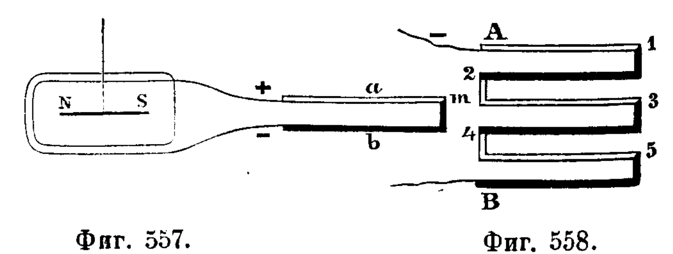


Фиг. 556.

локи, — обогнутой много разъ вокругъ магнитной стрѣлки и представлявшей родъ гальванометра, — висмутовый кружокъ, къ которому и прижималъ рукою второй конецъ b мѣдной проволоки. Тотчасъ обнаружилось отклоненiе стрѣлки. Кружокъ сюрьмы, положенной вмѣсто висмутоваго, далъ отклоненiе въ противоположную сторону. Цинковый кружокъ отклоненiя не далъ. Въ первое время Зебекъ думалъ, не происходитъ ли явленiе отъ влаги руки, помощiю которой конецъ мѣдной проволоки прижимался къ

так какъ признавалъ ихъ магнитными, а не электрическими. Зебекъ не говоритъ какiя собственно явленiя навели его ни мысль о возможности гальванической цѣпи изъ однихъ металловъ, намекаетъ только мимоходомъ, что „висмутъ и сюрьма, соединенные съ мѣдью въ обыкновенную гальваническую цѣпь, оказались въ нѣкоторыхъ кускахъ отступающими отъ нормы и перемѣнчивыми“, и приводитъ слѣдующее руководившее имъ соображенiе. Въ цѣпи изъ двухъ металловъ и жидкости три прикосновенiя разнородныхъ тѣлъ: прикосновенiе металловъ между собою и два прикосновенiя жидкости съ погруженными металлами. „Преобладающее дѣйствiе въ одномъ какомъ-либо изъ этихъ пунктовъ надъ дѣйствiями въ двухъ другихъ способно причинить магнитное напряженiе цѣпи (токъ), а это, полагаю я, позволяетъ ожидать, что при всякомъ неравенствѣ въ состоянiи пунктовъ прикосновенiя двухъ, въ кругъ между собою соединенныхъ металловъ можетъ обнаружиться магнитная полярность“.

кружку. Отсутствіе отклоненія въ случаѣ цинка опровергло это предположеніе, ибо если бы явленіе происходило отъ влаги руки, то въ случаѣ цѣпи изъ цинка и мѣди отклоненіе не только было бы замѣтно, но и имѣло бы сравнительно наибольшее напряженіе. Зебекъ нашелъ далѣе, что можно прижимать конецъ проволоки не прямо рукой, а при посредствѣ небольшой металлической, даже сухой стеклянной палочки (въ послѣднемъ случаѣ явленіе, правда, обнаруживалось очень слабо). Тогда у него родилась мысль, не происходитъ ли явленіе отъ *тепла* прижимающей руки, сообщающагося верхнему мѣсту прикосновенія мѣди и висмута; не есть ли нагрѣваніе причина упомянутаго „неравенства въ состояніи пунктовъ прикосновенія" производящаго токъ? Дальнѣйшіе опыты показали, что это предположеніе было вѣрно, что два металла соединенные между собой въ гальваническій кругъ, могутъ дать токъ, какъ скоро ихъ мѣста прикосновенія находятся при разныхъ температурахъ. Такая гальваническая цѣпь именуется *термо-электрической*, въ отличіе отъ *гидро-электрической*, въ составъ которой входятъ жидкости.



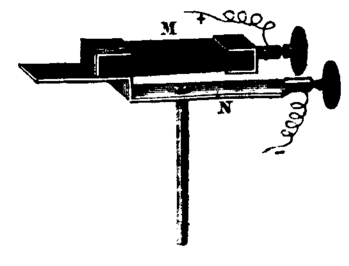
Фиг. 557. Фиг. 558.

Палочка висмута b (фиг. 557) приведенная своимъ концемъ въ тѣсное прикосновеніе съ палочкою a сюрьмы (чрезъ нажатіе или даже чрезъ спайку, ибо, какъ увидимъ, слой спаивающаго вещества не измѣнетъ явленія) представляетъ примѣръ *термо-электрическаго элемента*.

Если нагрѣвать мѣсто прикосновенія m, соединивъ свободные концы элемента съ гильванометромъ, то обнаружится токъ, направляющійся внѣ элемента отъ сюрьмы къ висмуту и отклоняющій стрѣлку. Токъ будетъ имѣть противоположное направленіе, если охлаждать пунктъ m. Если вмѣсто одного термо-электрическаго элемента возьмемъ ихъ нѣсколько и расположимъ, какъ показано на фиг. 558, такъ чтобы нечетныя мѣста прикосновенія (или спаи) были обращены въ одну, четныя въ другую сторону, то получимъ цѣлую термо-электрическую батарею. Соединивъ концы ея съ гальванометромъ и поддерживая нечетныя мѣста прикосновенія при одной, четные при другой температурѣ, получимъ весьма постоянный термо-электрическій токъ.

Если вмѣсто того чтобы приводить непосредственно въ прикосновеніе дѣйствующіе металлы A и B и нагрѣвать мѣсто гдѣ они касаются между собою, помѣстимъ между ними третій металлъ C и нагрѣемъ до той же температуры оба мѣста прикосновенія C съ A и B, то явленіе не измѣнится и произойдетъ такъ какъ еслибы металлы A и B непосредственно касались одинъ другаго. Потому можно,—вмѣсто того чтобы нажимать одинъ на другой,—*спаивать* изслѣдуемые металлы: слой спаивающаго вещества не измѣняетъ явленія, и оно происходитъ какъ еслибы металлы были въ непосредственномъ прикосновеніи между собою.

Въ новѣйшее время было не мало попытокъ устроить по возможности сильныя термо-электрическія батареи, пользуясь термо-электрическими свойствами сѣрнистой мѣди, нейзельбера и различныхъ сплавовъ. Одинъ изъ такихъ элементовъ (изъ сѣрнистой мѣди и нейзильбера) изображенъ на фиг. 559. Это элементъ Эдм. Беккереля. Упомянемъ также о батареѣ вѣнскаго ученаго Маркуса (положительный металлъ изъ 65, по вѣсу, частей мѣди и 31 цинка; отрицательный изъ 12 частей сюрьмы, 5 цинка или нейзиль).abэd



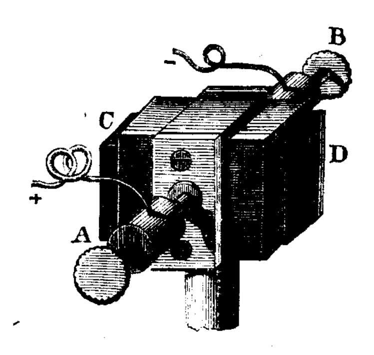
Фиг. 559.

Термо-электрическій рядъ металловъ можно видѣть въ слѣдующей таблицѣ, гдѣ каждый предыдущій металлъ въ сочетаніи съ какимъ-либо изъ послѣдующихъ играетъ роль электро-отрицательнаго металла:

—	
Висмутъ	свинецъ.
Нейзельберъ	цинкъ.
Платина	серебро
Золото	желѣзо.
Мѣдь	сюрьма.
	+

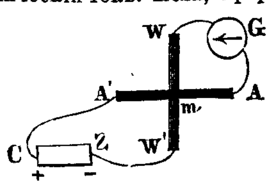
Сила термоэлектрическаго тока зависитъ отъ разности температуръ, при какихъ находятся мѣста прикосновенія металловъ составляющихъ элементъ (отъ разности температуръ четныхъ и нечетныхъ спаевъ въ случаѣ батареи). Когда разность эта не очень значительна, то сила тока пропорціональна ей. При значительныхъ разностяхъ законъ пропорціональности не имѣетъ мѣста и бываютъ даже случаи обращенія тока (Куммингъ, 1823). Такъ, если припаять къ концамъ желѣзной проволоки по мѣдной проволокѣ, соединить эти послѣднія съ гальванометромъ и, поддерживая одинъ спай при 0°, повышать постепенно температуру другаго, то въ началѣ напряженіе тока, идущаго чрезъ нагрѣтый спай отъ мѣди къ желѣзу, будетъ возрастать; при 140° токъ достигаетъ своего *maximum*, затѣмъ будетъ ослабѣвать и при 300° будетъ равняться нулю. При дальнѣйшемъ возвышеніи токъ вновь появляется, но въ противоположномъ направленіи: отъ желѣза къ мѣди чрезъ нагрѣтый спай. Подобныя явленія замѣчаются въ элементѣ изъ цинка и серебра, цинка и золота.

§ 384. Термо-электрическій столбецъ. Нобили (1830) воспользовался термо-электрическою батареею изъ маленькихъ элементовъ висмута и сюрьмы для устройства снаряда способнаго служить чувствительнѣйшимъ термометромъ. Меллони измѣнилъ расположеніе снаряда такъ что онъ получилъ форму столбика, въ которомъ всѣ четные спаи составляющихъ его маленькихъ элементовъ висмута и сюрьмы обращены въ одну, всѣ нечетные въ другую сторону. Снарядъ называется *термо-электрическимъ столбцемъ Меллони* (фиг. 560). Объ употребленіи его мы уже говорили въ ученіи о лучистой теплотѣ.



Фиг. 560.

§ 385. Опытъ Пельтье *). Возьмемъ (фиг. 561) двѣ палочки висмута WW' и сюрьмы AA' образующія крестъ, и прикасающіяся между собою въ точкѣ m. Соединимъ концы W' и A' на нѣкоторое время съ полюсами гальваническаго элемента такъ чтобы чрезъ вѣтви $W'm$ и mA' проходилъ несильный гальваническій токъ. Если, прервавъ затѣмъ соединеніе съ элементомъ, приведемъ концы A и W въ сообщеніе съ гальванометромъ G, то стрѣлка гальванометра отклонится, показывая что въ мѣстѣ прикосновенія m висмута и сюрьмы произошло, вслѣдствіе проходившаго тока, измѣненіе температуры. При этомъ, если *гальваническій* токъ шелъ чрезъ мѣсто m отъ сюрьмы къ висмуту, то обнаруживаемый гальванометромъ *термо-электрическій* токъ въ томъ же мѣстѣ m имѣетъ направленіе отъ висмута къ сюрьмѣ, тѣмъ свидѣтельствуя что мѣсто это *нагрѣто* сравнительно съ сосѣдними частями. Наоборотъ, если *гальваническій* токъ шелъ отъ висмута къ сюрьмѣ, то послѣдующій *термо-электрическій* обнаруживаетъ охлажденіе мѣста m. Другими словами гальваническій токъ идущій чрезъ m въ такомъ направленіи въ какомъ, когда оно нагрѣто, идетъ чрезъ него термоэлектрическій токъ *охлаждаетъ* это мѣсто сравнительно съ сосѣдними частями и, наоборотъ, токъ идущій чрезъ спай обратно термоэлектрическому, возбуждаемому нагрѣваніемъ этого спая, *повышаетъ* его температуру. Отсюда слѣдуетъ что въ самой термоэлектрической замкнутой цѣпи нагрѣваемый спай, принимая отъ нагрѣвающаго источника количество c теплоты, нагрѣвается менѣе чѣмъ какъ нагрѣлся бы еслибы цѣпь не была замкнута; нѣкоторая часть количества c идетъ на образованіе тока. Но преобразованная такимъ образомъ теплота не утрачивается, а только переносится, ибо токъ въ свою очередь разрѣшается явленіемъ теплоты: нагрѣваніемъ какъ цѣпи вообще такъ и въ особенности холоднаго спая.



Фиг. 561.

Покойный петербургскій профессоръ и академикъ Ленцъ сдѣлалъ въ мѣстѣ прикосновенія висмута и сюрьмы небольшую

*) Французскій ученый; описываемыя здѣсь изслѣдованія произведены въ 1834 году.

ямочку наполненную водою и, помощію окружавшаго снарядъ льда охладивъ всѣ части до 0°, пропускалъ токъ отъ одного элемента Грова такъ чтобы токъ этотъ чрезъ мѣсто прикосновенія шелъ отъ висмута къ сюрьмѣ: вода въ ямочкѣ замерзла.

§ 386. Явленія пироэлектричества въ турмалинѣ и другихъ тѣлахъ. Нагрѣваніемъ и охлажденіемъ можно возбудить электричество не только въ металлахъ, но и въ нѣкоторыхъ непроводникахъ кристаллическаго строенія. Но въ непроводникахъ оно обнаруживается не токомъ, а противоположнымъ наэлектризованіемъ концевъ нагрѣваемаго или охлаждаемаго куска. Явленіе это, именуемое иногда *пироэлектричествомъ*, было замѣчено Эпинусомъ (1757) въ турмалинѣ.

„Сей камень, говоритъ Эпинусъ въ рѣчи *О сходствѣ электрической силы съ магнитною* (произнесенной въ Петербургѣ на академическомъ собраніи 1758 года),—твердъ и прозраченъ и въ довольно жестокомъ огнѣ невредимъ пребываетъ и потому его должно полагать между дорогими каменьями.. Чрезъ многочисленные опыты... ясно усмотрѣлъ я въ камнѣ семъ двоякую электрическую силу, изъ коихъ первая треніемъ, а другая сообщеніемъ камню извѣстнаго градуса теплоты производится. Электрическая сила которую камень посредствомъ обыкновеннаго тренія получаетъ, отъ свойственной самому простому стеклу ни мало не разнится... Бо̀льшаго удивленія достойна электрическая сила, которая въ помянутомъ камнѣ посредствомъ теплоты производится. Когда онъ нагрѣется нѣсколько больше нежели какъ кровь здороваго человѣка обыкновенно тепла бываетъ, то показываетъ весьма сильную, въ разсужденіе своей величины, электрическую силу и долго оную сохраняетъ... Когда въ немъ однажды электрическая сила произведена, то хотя бы камень и совсѣмъ простылъ, однако же она и послѣ того постоянно продолжается, такъ что по прошествіи шести или семи часовъ еще весьма чувствительна бываетъ. При семъ усматривается совершеннѣйшее съ магнитомъ сходство, ибо въ нагрѣтомъ турмалинѣ обыкновенно одна сторона положительную, другая отрицательную электрическую силу имѣетъ“.

Кантонъ (1759) показалъ что наэлектризованіе пріобрѣтаемое турмалиномъ при повышеніи его температуры бываетъ обратное съ замѣчаемымъ при его охлажденіи, такъ что турмалинъ, который пока увеличивалась его температура показывалъ при концѣ *A* положительное, при концѣ *B* отрицательное электричество обнаруживаетъ, когда охлаждается, при *A* отрицательное при *B* положительное наэлектризованіе. Этимъ объясняются различныя аномаліи замѣченныя Эпинусомъ и другими. Явленія пироэлектричества замѣчаются также въ борацитѣ, топазѣ и нѣкоторыхъ другихъ тѣлахъ.

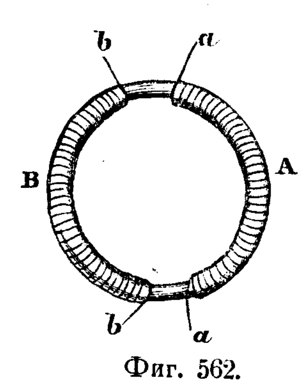
VI. Индуктивныя явленія.

§ 387. Открытіе индуктивныхъ токовъ, сдѣланное Фарадеемъ. Когда было открыто что электричество способно возбуждать магнетизмъ, естественно было спросить нельзя ли, наоборотъ, помощію магнита породить электричество *). Предположеніе такой возможности приводилось въ связь съ другимъ не менѣе вѣроятнымъ предположеніемъ, которое Амперъ выразилъ такъ: „каждое наэлектризованное тѣло, не теряя своего электрическаго запаса, возбуждаетъ электричество въ проводникѣ поднесенномъ къ этому тѣлу на

*) Уже Френель стремился разрѣшить этотъ вопросъ, но не получилъ результата. „Когда было замѣчено, говоритъ онъ, что электрическій токъ намагничиваетъ стальной цилиндръ, пробѣгая по обвивающей его металлической проволокѣ, естественно было испытать, не можетъ ли магнитная полоса произвести гальваническій токъ въ обвивающей ее проволокѣ. Это не есть, впрочемъ, необходимое слѣдствіе фактовъ, ибо если состояніе намагниченія стали есть, напримѣръ, только новое расположеніе частицъ или новое распредѣленіе особой жидкости, то легко понять, что это новое состояніе можетъ и не воспроизводить движенія которое его установило. Думая однако что не безполезно было попробовать опытъ, я обвилъ улиткообразно магнитную полосу желѣзною проволокой, избравъ желѣзо потому что оно легко окисляется въ водѣ (я употреблялъ и мѣдь, но безъ успѣха, даже когда къ водѣ было прибавлено кислоты)... Опустивъ концы проволоки въ воду и оставляя ихъ тамъ на довольно значительное время, я замѣтилъ медленное окисленіе одинаковой степени на обоихъ концахъ... Первые три опыта казались мнѣ представляющими поразительное подтвержденіе моихъ предположеній, и я сообщилъ Академіи въ засѣданіи 6-го ноября (1820), что я только что получилъ довольно явственные знаки гальваническаго дѣйствія магнита. Но въ послѣдствіи я замѣтилъ многія аномаліи, которыхъ причины не могъ открыть, но которыя заставляютъ меня считать весьма сомнительнымъ то что прежде казалось вѣрнымъ“. Въ свою очередь, Амперъ, „обвивъ магнитъ изолированною проволокою старался обнаружить въ ней существованіе тока возбужденнаго магнитомъ“, испытывая его присутствіе дѣйствіемъ на магнитную стрѣлку; но тоже безъ результата.

нѣкоторое разстояніе. Не оказываетъ ли такого же дѣйствія и электричество текущее въ проволокѣ и образущее токъ? Если такъ, то подобное же дѣйствіе долженъ бы оказывать и магнитъ.“ Еслибы предположеніе оправдалось, то это было бы прямымъ подтвержденіемъ ученія о внутреннихъ электрическихъ токахъ магнита. Но попытки оправдать эти положенія опытомъ **) оставались безуспѣшны до 1831 года, когда Фарадей открылъ *индуктивные токи.*

Это великое открытіе было плодомъ многолѣтнихъ изысканій. Еще въ 1825 году Фарадей пропускалъ токъ чрезъ изолированную проволоку проведенную рядомъ съ другою, концы которой соединялись съ гальванометромъ, и не замѣтилъ никакого дѣйствія. Первый удачный опытъ былъ сдѣланъ въ концѣ августа 1831 года, когда наконецъ Фарадею удалось замѣтить главную особенность явленія, вслѣдствіе которой оно до тѣхъ поръ ускользало отъ наблюденія. Фарадей взялъ желѣзное кольцо (фиг. 562),



Фиг. 562.

*) Въ іюлѣ 1821 года Амперъ сдѣлалъ рядъ опытовъ съ цѣлью обнаружить искомое дѣйствіе, но пришелъ къ отрицательному заключенію. Онъ „повѣсилъ на тонкой нити мѣдное кольцо внутри спирально согнутой мѣдной изолированной проволоки, очень близко къ ея оборотамъ; концы проволоки сообщались съ полюсами сильной гальванической батареи. Еслибы въ кольцѣ присутствовалъ (возбужденный чрезъ вліяніе) электрическій токъ, то кольцо это должно было бы притягиваться или отталкиваться сильнымъ магнитомъ. Но ни притяженія, ни отталкиванія не было.“ Тотъ же опытъ Амперъ, въ сентябрѣ 1820, года повторилъ въ Женевѣ, въ лабоваторіи А. Деларива, вмѣстѣ съ послѣднимъ, и замѣтилъ нѣкорое дѣйствіе. „Въ моментъ, когда мы, говоритъ онъ, сообщали концы проволоки съ батареей, кольцо притягкивалось или отталкивалось магнитомъ, смотря потому какой передъ нимъ былъ полюсъ.“ Дѣйствіе было весьма слабое, опытъ показался Амперу непостояннымъ, и блеснувшій лучъ великаго открытія ускользнулъ отъ его вниманія. Онъ оставилъ опыты, какъ не давшіе опредѣлительнаго результата.

намоталъ на него двѣ изолированныя проволоки; одну B на одной половинѣ, другую A на другой половинѣ. Концы проволоки B соединилъ мѣдною проволокою проведенною надъ магнитною стрѣлкой (долженствовавшею играть роль гальванометра); концы проволоки A соединилъ съ батареею изъ десяти элементовъ. *Въ моментъ соединенія* „обнаружилось замѣтное дѣйствіе на стрѣлку. Она пришла въ качаніе, но скоро возвратилась въ прежнее положеніе. *Въ моментъ когда прервано было сообщеніе* A съ батареею, обнаружилось новое возмущеніе стрѣлки“.

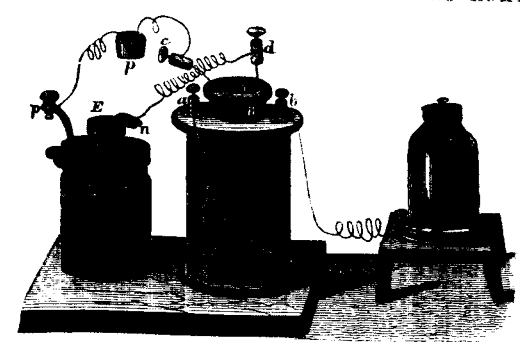
§ 388. **Индуктивный токъ чрезъ прерываніе и замыканіе возбуждающей его цѣпи.** Желая привести опытъ въ возможно простую форму *) и обнаружить дѣйствіе тока на сосѣднюю проволоку независимо отъ намагниченія желѣза (какъ было въ описанномъ опытѣ), Фарадей намоталъ на деревянный валъ вмѣстѣ двѣ проволоки, по 203 фута длиною каждая, такъ чтобъ онѣ не касались металлически между собой, будучи раздѣлены непроводящимъ слоемъ (для этого проволоки были взяты не голыя, а обвитыя шелкомъ). Концы одной изъ проволокъ были проведены къ полюсамъ гальванической батареи изъ ста паръ мѣди и цинка **), концы другой соединены съ гальванометромъ.

*) Послѣ первыхъ опытовъ, Фарадей писалъ къ своему другу Филлипсу: „Я вновь занятъ электро-магнетизмомъ и кажется удалось захватить хорошую вещь; но утверждать еще не могу. Еще можетъ быть вытащу илъ вмѣсто рыбы послѣ всѣхъ моихъ трудовъ“.

**) Менѣе сильная батарея, при малой чувствительности гальванометра, не дала явственнаго результата.

„Въ *моментъ соединенія* (первой) проволоки съ батареей обнаруживалось мгновенно слабое дѣйствіе (второй) на гальванометръ; подобное же слабое дѣйствіе обнаруживалось, когда соединеніе съ батареей *прерывалось*. Пока токъ проходилъ по (первой) проволокѣ, нельзя было замѣтить никакого слѣда дѣйствія (второй на гальванометръ), хотя батарея была очень сильна, какъ можно было убѣдиться изъ общаго нагрѣванія проволоки и блестящей искры при разрядѣ помощію углей... Дѣйствіе было мгновенное и по натурѣ болѣе сходное съ электрическою волной, пробѣгающею по проводнику при разрядѣ лейденской банки, чѣмъ съ разрядомъ вольтовой батареи.“

Фиг. 563 изображаетъ расположеніе снаряда для повторенія опыта Фарадея въ нѣсколько измѣненной



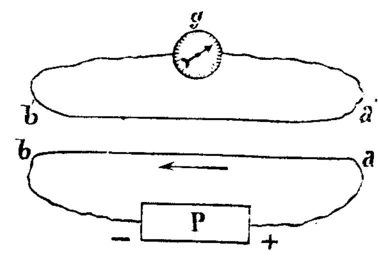
Фиг. 563.

формѣ. Проволоки не намотаны вмѣстѣ на одну катушку, но составляютъ отдѣльныя катушки или бобины, изъ коихъ соединяемая съ батареей помѣщена внутри испытывающей индуктивное дѣйствіе. Концы первой соединены, при посредствѣ чашечки со ртутью *p*, съ батареей (при достаточно чувствительномъ гальванометрѣ довольно одного элемента чтобы обнаружить дѣйствіе), концы второй соединены съ гальванометромъ. Какъ скоро кончикъ проволоки вынимается изъ

ртути, токъ прерывается. Въ этотъ моментъ возбуждается мгновенный токъ во внѣшней проволокѣ, и стрѣлка гальванометра получаетъ толчокъ. Вновь опустивъ кончикъ въ ртуть, замыкаемъ токъ; стрѣлка получаетъ толчокъ въ противоположную сторону; но скоро опять успокоивается, и пока во внутренней бобинѣ идетъ постоянный токъ, никакого индуктивнаго дѣйствія не обнаруживается.

Еслибы, оставивъ внутреннюю проволоку въ постоянномъ соединеніи съ элементомъ, мы стали бы то прерывать, то возстановлять сообщеніе внѣшней проволоки съ гальванометромъ, то никакого индуктивнаго дѣйствія не обнаружилось бы.

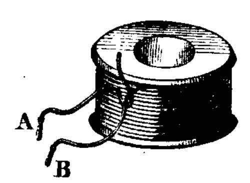
Проволока соединяемая съ батареею именуется *первичною* или *индуктирующею*, соединенная съ гальваномеромъ *вторичною* или *индуктивною*; возбуждаемый токъ *индуктивнымъ* токомъ; самое дѣйствіе *индукціею*. Наблюдая въ какую сторону отклоняется стрѣлка гальванометра, не трудно убѣдиться что индуктивный токъ появляющійся въ моментъ *замыканія* цѣпи имѣетъ обратное направленіе съ токомъ первичной проволоки. Онъ именуется *обратнымъ*. Токъ обнаруживающійся въ индуктивной проволокѣ въ моментъ *прерыванія* цѣпи—имѣетъ одинаковое направленіе съ индуктиру-



Фиг. 564.

ющимъ токомъ и именуется потому *прямымъ*. Такимъ образомъ если въ проволокѣ соединенной съ батареей *P* (фиг. 564 изображающая опытъ въ простѣйшей схемѣ) токъ идетъ отъ *a* къ *b*, то въ

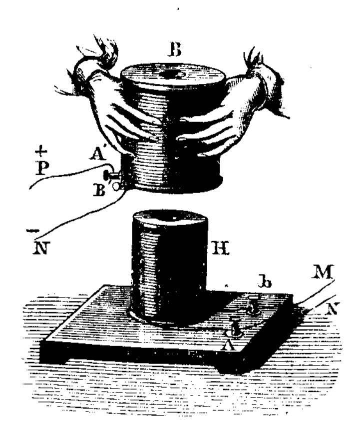
моментъ его прерыванія въ сосѣдней проволокѣ обнаружится индуктивный токъ по тому же направленію, т.-е. отъ a' къ b'. Индуктивный токъ пойдетъ отъ b' въ a' нъ моментъ замыканія цѣпи.



Фиг. 565.

Употребленіе, вмѣсто прямолинейныхъ проволокъ, цѣлыхъ бобинъ (фиг. 565), значительно усиливаетъ дѣйствіе.

§ 389. **Индуктивные токи чрезъ приближеніе и удаленіе.** Фарадей показалъ далѣе что индуктивные токи могутъ возбуждаться не только чрезъ прерываніе или замыканіе тока въ индуктирующей проволокѣ, но также чрезъ *сближеніе* между собою или *удаленіе* одной отъ другой индуктирующей и индуктивной проволокъ.



Фиг. 566.

„Мѣдная проволока во много футовъ длиною была согнута широкими зигзагами, подобно буквѣ W и укрѣплена на одной сторонѣ широкой доски; другая

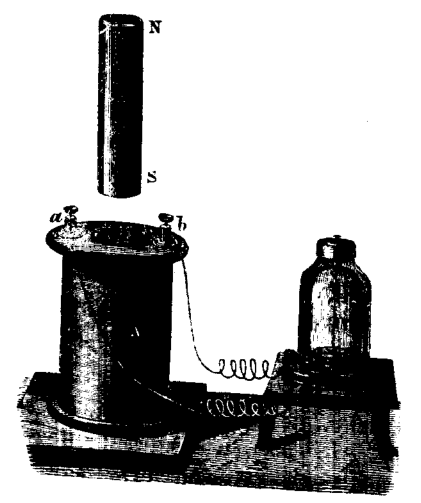
такая же проволока подобнымъ же образомъ располагалась на другой доскѣ. Концы одной были соединены съ гальванометромъ, другой—съ гальваническою батареей. Когда одна доска быстро приближалась къ другой, стрѣлка гальванометра отклонялась; она отклонялась въ противную сторону при удаленіи досокъ одной отъ другой. Производя сближеніе и удаленіе досокъ согласно съ качаніями стрѣлки, можно было сдѣлать качанія эти очень значительными. Какъ только прекращалось движеніе досокъ, стрѣлка скоро возвращалась въ обыкновенное положеніе покоя".

Фиг. 566 изображаетъ какъ производится этотъ опытъ помощію двухъ бобинъ. Индуктивный токъ при приближеніи бываетъ *обратный*, при удаленіи *прямой*.

§ 390. **Индуктирующее дѣйствіе возрастающаго и ослабѣвающаго тока. Сравненіе индуктивныхъ токовъ, прямаго и обратнаго, между собою.** Одинаковое съ приближающимся токомъ имѣетъ дѣйствіе токъ остающійся неподвижно, но сила котораго *возрастаетъ*. Токъ *ослабѣвающій* имѣтъ дѣйствіе подобное удаляющемуся: возбуждаетъ прямой индуктивный токъ.

Самый процессъ замыканія можно разсматривать какъ быстрое возрастаніе тока отъ нуля до нѣкоторой опредѣленной силы; прерываніе какъ быстрое ослабѣваніе отъ нѣкоторой опредѣленной силы до нуля. Послѣднее явленіе происходитъ быстрѣе перваго и потому возбуждаемый имъ прямой токъ кратковременнѣе обратнаго возбуждаемаго возрастаніемъ, происходящимъ болѣе постепенно чѣмъ внезапное прекращеніе вслѣдствіе перерыва. Но количество электричества приводимаго въ движеніе въ прямомъ и обратномъ токѣ одинаково. Объ этомъ свидѣтельствуетъ ихъ дѣйствіе на гальванометръ, оказывающееся одинаковымъ. Но то же количество электричества двигаясь въ проволокѣ въ кратчайшее время должно производить въ продолженіе этого времени токъ болѣе значительнаго напряженія. Таковымъ и оказывается прямой токъ. Дѣйствіе на стрѣлку происходитъ какъ толчокъ. Не смотря на разницу напряженія, оно одинаково; ибо хотя толчокъ прямаго тока сильнѣе, за то кратковременнѣе, толчекъ же обратнаго слабѣе, но длится болѣе значительное время: одно обстоятельство вознаграждается другимъ.

§ 391. Индуктивные токи возбуждаемые дѣйствіемъ магнита. Магнитъ, какъ естественная совокупность токовъ, также производитъ индуктивное дѣйствіе. Фарадей показалъ что если намотать проволоку на цилиндръ пустой внутри, такъ чтобы образовалась бобина съ каналомъ по оси (фиг. 567), соединить ея концы



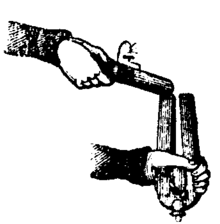
Фиг. 567.

a и *b* съ гальванометромъ и быстро вдвинуть въ бобину магнитъ, то стрѣлка гальванометра получитъ толчокъ, свидѣтельствующій объ индуктивномъ токѣ возбуждаемомъ въ проволокѣ. Если магнитъ вынуть, то во время его движенія вновь возбудится индуктивный токъ противоположнаго съ первымъ направленія. Пока магнитъ остается безъ движенія, въ бобинѣ никакого тока не замѣчается *). Токъ въ про-

*) Причина по которой Амперъ и другіе ученые не обнаружили электрическаго (индуктивнаго) дѣйствія токовъ и магнитовъ на окружающіе проводники, несмотря на весьма цѣлесообразное расположеніе снарядовъ, заключалась въ томъ, что дѣйствіе

волокѣ при приближеніи магнита *обратный*, то-есть противоположнаго направленія съ токами предполагаемыми въ магнитѣ по теоріи Ампера; при удаленіи— *прямой*, то-есть одного направленія съ токами Ампера.

Фарадей показалъ далѣе что дѣйствіемъ магнита можно не только возбудить токъ способный отклонить стрѣлку гальванометра, но и произвести электрическую искру. Для этого онъ обмоталъ изолированною проволокой желѣзную полосу служившую якоремъ магниту; къ одному концу (фиг. 568) этой проволоки припаялъ мѣдную пластинку, а другой конецъ изогнулъ такъ что, будучи положенъ на мѣдную пластинку, онъ держался на ней, сохраняя прикосновеніе. Чтобы прикосновеніе было тѣснѣе, пластинка, тамъ гдѣ лежалъ на ней сгибъ проволоки, амальгамировалась каплею ртути. Когда якорь отрывался, сотрясеніе нарушало прикосновеніе, и появлялась искра, вызванная дѣйствіемъ магнита, породившимъ въ проволокѣ электрическую волну индуктивнаго тока.



Фиг. 568.

Описанными опытами разрѣшается вопросъ о возбужденіи электричества дѣйствіемъ магнита. Они по-

это обнаруживается не въ той совсѣмъ формѣ, какъ того ожидали. Искали дѣйствія постоянныхъ токовъ и неподвижныхъ магнитовъ: дѣйствіе обнаруживаютъ токи мѣняющіеся въ напряженіи, магниты находящіеся въ движеніи. Гровъ замѣчаетъ, что еслибы идеи о сохраненіи энергіи въ природѣ имѣли въ ту эпоху то значеніе, какое они получили впослѣдствіи, то ученые легко убѣдились бы въ невозможности произвести дѣйствіе избраннымъ ими путемъ. „Послѣ того какъ Эрстедъ, говоритъ Гровъ, открылъ явленія электро-магнетизма, талантливѣйшіе ученые разсуждали такъ: если электрическій токъ, пробѣгая по проволокѣ вокругъ желѣзной полосы, производитъ магнетизмъ, то,—такъ какъ дѣйствіе равно и противоположно противодѣйствію,—магнитъ помѣщенный внутри согнутой спирально проволоки, долженъ производить въ ней электрическій токъ. Представься ихъ уму, что еслибы остающійся на мѣстѣ магнитъ могъ порождать электричество, а слѣдовательно и движеніе, то мы имѣли бы вѣчное движеніе,—они, вѣроятно, предупредили бы открытіе Фарадея и нашли бы, что требуется лишь двигать магнитъ относительно проволоки, и тогда можно ожидать возбужденія электричеста, не впадая въ нелѣпость“

служили основаніемъ къ устройству *магнито-электрическихъ* машинъ, о которыхъ скажемъ ниже.

§ 392. Усиленіе индуктивныхъ дѣйствій помощію мягкаго желѣза помѣщаемаго въ бобинахъ. Всѣ явленія индукціи значительно усиливаются, если опыты производятся съ бобинами въ каналѣ которыхъ помѣщено желѣзо (желѣзный цилиндръ или еще лучше пучокъ желѣзныхъ проволокъ). Индуктирующее дѣйствіе тока соединяется въ такомъ случаѣ съ индуктирующимъ дѣйствіемъ магнита, какимъ временно становится желѣзо. Такъ, если въ опытѣ изображенномъ на фиг. 563, внутри индуктирующей бобины находится желѣзо, то въ моментъ замыканія тока къ дѣйствію проволоки присоединяется дѣйствіе желѣза быстро пріобрѣтшаго магнетизмъ и представляющаго собою какъ бы магнитъ вдругъ вдвинутый въ бобину тѣмъ полюсомъ въ которомъ направленіе тока одинаково съ направленіемъ тока намагничивающей проволоки. Оба индуктирующія дѣйствія будутъ слѣдовательно согласны между собою и возбудятъ сильный *обратный* токъ въ индуктивной проволокѣ. Удача перваго опыта Фарадея, упомянутаго въ § 387, зависѣла отъ желѣзнаго кольца, на которое наматывались проволоки.

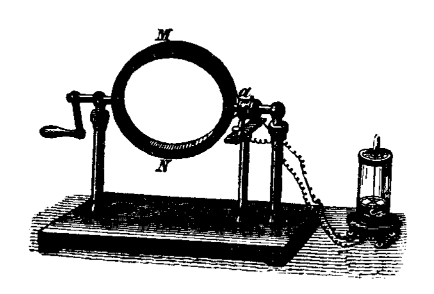
§ 393. Законъ Ленца. Ленцъ высказалъ слѣдующій законъ дозволяющій предсказать направленіе индуктивнаго тока въ самыхъ разнообразныхъ случаяхъ индуктивнаго дѣйствія. „Если металлическій проводникъ движется въ сосѣдствѣ гальваническаго тока или магнита, то въ немъ возбуждается гальваническій токъ, имѣющій такое направленіе что будь онъ въ покоющейся проволокѣ, онъ произвелъ бы движеніе противоположное тому какое здѣсь дано ей (предполагаемъ что покоющаяся проволока можетъ перемѣщаться только по направленію этого движенія или

противоположно ему)“. Другими словами индуктивный токъ, возбуждающійся въ проволокѣ движущейся въ сосѣдствѣ тока или магнита противодѣйствуетъ механическому усилію, какимъ движеніе производится. Такимъ образомъ при сближеніи проводника съ токомъ или магнитомъ образуется обратный, то-есть производящій отталкиваніе индуктивный токъ, при удаленіи прямой, то-есть обнаруживающій притяженіе. Избытокъ работы въ случаѣ возбужденія индуктивныхъ токовъ сравнительно съ тѣмъ случаемъ когда нѣтъ индуктивныхъ явленій и есть истинный источникъ индуктивныхъ токовъ и тѣхъ дѣйствій какія они производятъ. Въ этомъ смыслѣ индуктивный токъ есть случай преобразованія механической работы въ электрическое движніе, въ свою очередь разрѣшающееся явленіями теплоты и иными дѣйствіями.

Чтобы прилагать правило Ленца къ случаю возбужденія тока чрезъ замкнутіе, прерываніе и вообще возрастаніе и ослабленіе тока первичной проволоки, должно замыканіе или возрастаніе разсматривать какъ случай приближенія, прерываніе и ослабленіе какъ случай удаленія тока.

§ 394. Индуктивные токи отъ дѣйствія земли. Земной шаръ, дѣйствуя подобно магниту, можетъ также возбуждать индуктивные токи. Въ простѣйшей формѣ Фарадей обнаружилъ это слѣдующимъ опытомъ. Мѣдная проволока въ восемь футовъ длиною и ½ линіи толщиною была своими концами соединена съ проволокою гальванометра, такъ что вмѣстѣ съ нею образовала одинъ замкнутый кругъ; затѣмъ была согнута приблизительно въ форму четыреугольника.“ Нижняя сторона четыреугольника, включавшая гальванометръ, укрѣплялась неподвижно, а самый четыреугольникъ могъ около нея обращаться въ ту или другую сторону, проходя подвижными вѣтвями надъ гальванометромъ.

При движенiи проволоки стрѣлка гальванометра отклонялась. Снарядъ изображенный на фиг. 569, именуемый

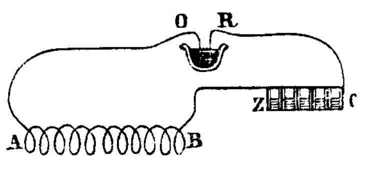


Фиг. 569.

земнымъ индукторомъ и состоящiй изъ изолированной проволоки многократно обвитой вокругъ рамки, которую помощiю рукоятки можно обращать въ ту или другую сторону, можетъ служить для изслѣдованiя индуктивнаго дѣйствiя земли. Если, помѣстивъ снарядъ такъ чтобы ось, на которой поворачивается рамка, была направлена отъ востока къ западу, заставимъ рамку сдѣлать быстро полуоборотъ такъ что часть *N* находившаяся внизу придется вверху, то замѣтимъ что стрѣлка гальванометра съ которымъ соединены концы проволоки получитъ толчекъ и отклоненiе. Дѣйствiе не обнаруживается, если поставимъ снарядъ такъ чтобы ось вращенiя имѣла направленiе совпадающее съ направленiемъ стрѣлки наклоненiя.

§ 395. Индуктивное взаимодѣйствiе оборотовъ одной и той же проволоки. Экстра-токъ. Если отъ полюсовъ батареи изъ небольшаго числа элементовъ провести короткiя проволоки въ чашечку со ртутью и, вынимая кончикъ одной изъ нихъ изъ ртути, прерывать токъ, то при каждомъ прерыванiи обнаруживается сла-

бая искра. Но если одну изъ короткихъ проволокъ замѣнить длинною согнутою (фиг. 570) многими оборота-



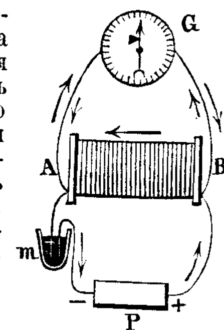
Фиг. 570.

ми, то искра при прерыванiи значительно усилится. Между тѣмъ токъ, устанавливающiйся когда цѣпь замкнута, во второмъ случаѣ слабѣе чѣмъ въ первомъ. Какимъ же образомъ отъ прерыванiя болѣе слабаго тока обнаруживается болѣе сильная искра? Опытъ еще рѣзче если вмѣсто длинной согнутой проволоки взять индуктивную катушку (особенно съ желѣзомъ внутри). Явленiе это усмотрѣнное многими наблюдателями находится въ очевидной связи съ фактомъ замѣченнымъ (1833) Дженкинсомъ (Jenkins). Наблюдатель беретъ смоченными (для лучшей проводимости) руками концы катушки введеной въ цѣпь. При этомъ нѣкоторая часть тока идущаго въ цѣпи проходитъ чрезъ наблюдателя, но но онъ не ощущаетъ ея присутствiя. Но если прервать токъ, то наблюдателя получаетъ значительный ударъ. Чтобы рѣзче обнаружить явленiе, къ концамъ катушки, присоединяются два мѣдныхъ цилиндра которые наблюдатель держитъ во влажныхъ рукахъ.

Фарадей объяснилъ явленiе индуктивнымъ токомъ рождающимся, въ моментъ прерыванiя, въ оборотахъ катушки, вслѣдствiе ихъ индуктивнаго взаимодѣйствiя. Токъ въ послѣдовательныхъ оборотахъ замираетъ постепенно. Прекратившись въ одномъ оборотѣ онъ тѣмъ самымъ возбуждаетъ индуктивный токъ въ сосѣднихъ оборотахъ; токъ этотъ прямой, то-есть одного направленiя съ первоначальнымъ, который та-

кимъ образомъ продолжается нѣкоторое время въ формѣ напряженнаго индуктивнаго тока. Индуктивный токъ этотъ Фарадей наименовалъ *экстра-токомъ*.

Его присутствіе легко обаруживается помощію опыта изображеннаго на фиг. 571. Отъ концевъ катушки AB соединенной съ полюсами батареи P отведена проволока къ гальванометру G. Часть тока беретъ путь чрезъ эту проволоку, и стрѣлка гальванометра отклоняется, обнаруживая присутствіе тока идущаго какъ показываютъ маленькія внутреннія стрѣлки. Помощію препятствія стрѣлкѣ не даютъ отклоняться въ ту сторону куда гонитъ ее дѣйствіе тока. Но прервемъ токъ, вынувъ кончикъ проволоки изъ чашечки со ртутью m. Въ катушкѣ обнаружится экстра-токъ, идущій отъ B къ A, который, разряжаясь чрезъ гальванометръ, пробѣжитъ въ немъ въ направленіи противоположномъ съ направленіемъ первоначальнаго тока (новое направленіе означено внѣшними стрѣлками) и моментально отклонитъ стрѣлку въ сторону гдѣ нѣтъ препятствія. Еслибы вмѣсто гальванометра концы катушки были соединены помощію тѣла наблюдателя, то наблюдатель, въ моментъ прерыванія, получилъ бы ударъ, какъ упомянуто выше *).

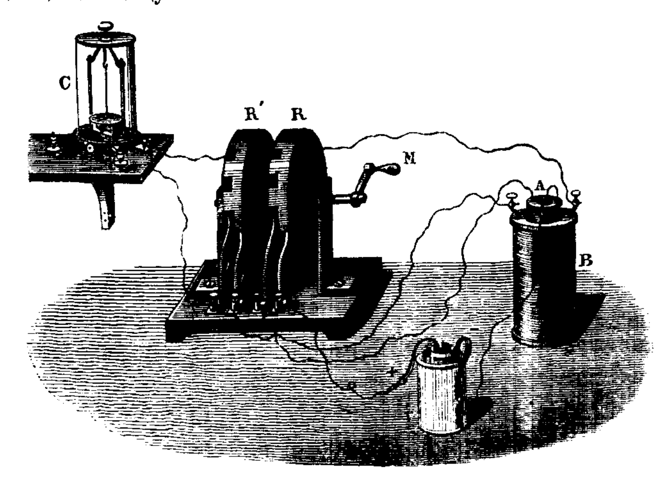


Фиг. 571.

§ 396. Дѣйствіе ряда индуктивныхъ токовъ какъ одного непрерывнаго тока. Если въ продолженіе даннаго времени много разъ замыкать и прерывать токъ въ индуктирующей проволокѣ, то въ индуктивной получимъ рядъ индуктивныхъ токовъ послѣдовательно пробѣгающихъ по ней взадъ и впередъ: обратный токъ при каждомъ замыканіи, прямой при каждомъ прерываніи. Правильное и многократное замыканіе и прерываніе удобно производится помощію диска изъ стекла, кости или дерева (вообще дурнаго проводника) приводимаго рукояткою въ движеніе на оси проходящей чрезъ его центръ. Дискъ окруженъ металлическимъ кольцомъ съ вырѣзками. Двѣ пружины прилегаютъ къ кольцу, одна касаясь непрерывной металлической части, другая вырѣзокъ. Если пружины соединить съ полюсами батареи, то очевидно, токъ будетъ замыкаться всякій разъ когда обѣ пружины будутъ касаться металлической части кольца: прерываться какъ скоро пружина соотвѣтствующая вырѣзкамъ съ металической части перейдетъ на тѣло самого диска.

* Индуктивное дѣйствіе оборотовъ одной и той же проволоки обнаруживается также и при замыканіи тока: обратный экстра-токъ, замедляющій наступленіе замыкаемаго.

Снарядъ (фиг. 572) изъ двухъ соединенныхъ дисковъ вращающихся на общей оси можетъ служить къ отдѣленію прямыхъ индуктивныхъ токовъ возбуждаемыхъ прерываніемъ отъ обратныхъ возбуждаемыхъ замыканіемъ тока въ индуктирующей проволокѣ. Одинъ изъ дисковъ R вводится въ цѣпь, состоящую изъ элемента и индуктирующей проволоки



Фиг. 572.

A; другой R' въ цѣпь образованную индуктивною проволокой B и гальванометромъ C. Если въ проволокѣ B возбужденъ индуктивный токъ, и дискъ R' стоитъ такъ что обѣ его пружины касаются металлической части кольца и слѣдовательно находятся между собою въ металлическомъ соединеніи, то токъ пройдетъ чрезъ гальванометръ; но въ случаѣ когда только одна изъ пружинъ касается металлической части, токъ, хотя бы и былъ возбуждаемъ, не можетъ образоваться, такъ какъ въ цѣпи находится перерывъ. Если диски на своей оси установлены одинъ относительно другаго такъ, что когда пружины одного находятся въ металлическомъ соединеніи, пружины другаго также обѣ касаются металлической части своего диска, то въ гальванометръ проходитъ индуктивный токъ соотвѣтствующій моментамъ замыканія (обратный). Если же диски поставлены такъ что пружины диска R' приводятся въ металлическое соединеніе въ моментъ когда пружины диска R разомкнуты, то въ гальванометръ проникаетъ токъ соотвѣтствующій прерываніямъ (прямой). Вращая диски установленные первымъ или вторымъ способомъ, пропускаемъ чрезъ гальванометръ или рядъ обратныхъ или рядъ прямыхъ индуктивныхъ токовъ. Такая совокупность тѣхъ или другихъ токовъ дѣйствуетъ какъ одинъ токъ неизмѣннаго направленія, способный производить всѣ

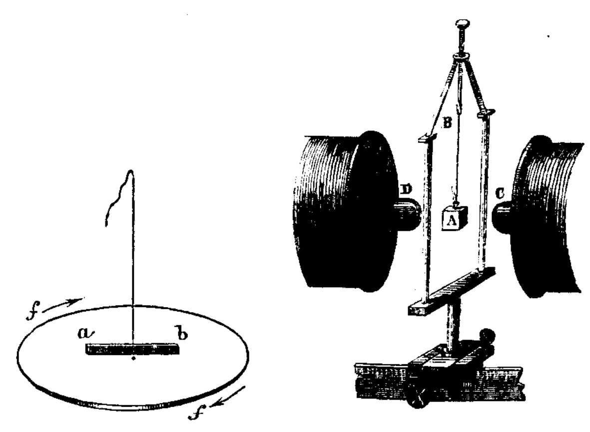
дѣйствія обыкновеннаго гидроэлектрическаго или термоэлектрическаго тока, отличаясь впрочемъ отъ нихъ тѣмъ что не есть въ строгомъ смыслѣ непрерывный, ибо состоитъ изъ быстро слѣдующихъ одинъ за однимъ толчковъ. Эта прерывочность есть причина сильнаго физіологическаго дѣйствія индуктивныхъ токовъ.

Для физіологическихъ дѣйствій нѣтъ, впрочемъ, надобности раздѣлять токи, ибо попремѣнное движеніе электричества взадъ и впередъ производитъ то же дѣйствіе какъ и прерывистый токъ, идущій въ одномъ направленіи. Въ электро-медицинскихъ снарядахъ прерываніе первичнаго тока производится обыкновенно помощію прерывателя Нефа о которомъ скажемъ при описаніи снаряда Румкорфа.

§ 397. Магнетизмъ вращенія открытый Араго. Опредѣляя вмѣстѣ съ Ал. Гумбольдтомъ въ 1822 году силу земнаго магнетизма на скатѣ возвышенности въ окрестностяхъ Гренвича въ Англіи, Араго замѣтилъ *) что „магнитная стрѣлка приведенная въ качаніе успокоивается скорѣе когда помѣщена въ своемъ ящикѣ чѣмъ когда удалена отъ всякаго посторонняго тѣла“. Араго произвелъ опыты (1824 г.), заставляя стрѣлку качаться надъ досками изъ различныхъ проводящихъ веществъ, и нашелъ что тѣла эти оказываютъ успокоивающее дѣйствіе на качающуюся стрѣлку, быстро уменьшая величину свершаемыхъ ею размаховъ, но не измѣняя замѣтно продолжительности каждаго отдѣльнаго качанія. „Но если, разсуждалъ онъ, стрѣлка находящаяся въ движеніи останавливается доскою находящеюся въ покоѣ, то не слѣдуетъ ли отсюда что находящаяся въ покоѣ стрѣлка должна быть увлечена движущеюся подъ нею доскою.“ Опытъ оправдалъ это заключеніе. „Дѣйствительно, если вращать (говоритъ Араго въ сообщеніи Парижской Академіи 1825 г.) съ опредѣленною скоростію, напримѣръ, мѣдный дискъ помѣщенный подъ магнитною стрѣлкою (фиг. 573), то стрѣлка не остается въ обыкновенномъ своемъ

*) Сколько извѣстно Гамбей (извѣстный французскій строитель точныхъ инструментовъ) обратилъ вниманіе Араго на этотъ фактъ.

положеніи: она отклоняется отъ магнитнаго меридіана и тѣмъ далѣе чѣмъ быстрѣе движеніе. Если вращеніе достаточно быстро, то стрѣлка (увлекаемая дѣйствіемъ диска) приходитъ въ непрерывное вращетельное движеніе около нити на которой виситъ.“ Чтобы воздухъ возмущаемый вращающимся дискомъ не могъ оказать дѣйствія на стрѣлку, она замыкается со всѣхъ сторонъ, будучи сверху прикрыта колпакомъ, а снизу отдѣлена отъ диска тонкою бумажною перегородкою.



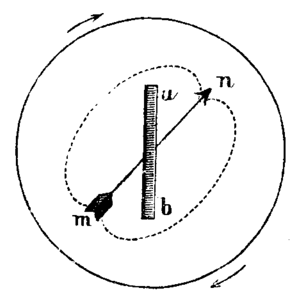
Фиг. 573. Фиг. 574.

Если покоющаяся мѣдь останавливаетъ качающуюся стрѣлку, то наоборотъ покоющійся магнитъ долженъ останавливать движущуюся мѣдь. Это подтверждается слѣдующимъ любопытнымъ опытомъ *). Между полюсами сильнаго электро-магнита вѣшаютъ мѣдный кубъ (фиг. 574) и, сильно закрутивъ нить, даютъ ей раскручиваться. Кубъ, пока токъ не пущенъ въ электро-магнитъ, приходитъ въ быстрое враща-

*) Точнаго указанія кѣмъ первоначально произведенъ этотъ опытъ не имѣется. Обыкновенно онъ приписывается Фарадею; Верде приписываетъ его Плюккеру.

тельное движеніе. Но какъ скоро токъ замкнутъ, и снарядъ пріобрѣлъ магнитную силу, кубъ мгновенно останавливается (или точнѣе, получаетъ медленное вращеніе). Окружающая среда какъ бы становится вязкою, противополагающею большое препятствіе движенію, препятствіе которое можно сравнить съ *невидимымъ треніемъ* (по выраженію Тиндаля).

§ 398. Объясненіе явленій магнетизма вращенія. Объясненіе описанныхъ явленій, называемыхъ *магнетизмомъ вращенія*, дано Фарадеемъ на основаніи ученія объ индуктивныхъ токахъ. Припомнимъ опытъ Барлова съ металлическимъ кругомъ (колесо Барлова) по радіусу котораго, въ сосѣдствѣ съ поднесеннымъ полюсомъ магнита, пропускается гальваническій токъ. Колесо приходитъ въ быстрое вращательное движеніе. По закону Ленца слѣдуетъ что если въ дискѣ тока нѣтъ, но онъ механически приведенъ во вращеніе въ сосѣдствѣ полюса магнита, то въ немъ долженъ *возбудиться индуктивный* токъ направленный по радіусу, и взаимодѣйствіе котораго съ магнитнымъ полюсомъ должно затруднять вращеніе колеса, дѣйствуя вопреки механическому усилію его вращающему. Магнитъ стремится остановить дискъ, дискъ по противодѣйствію стремится увлечь магнитъ и дѣйствительно увлекаетъ если магнитъ подвиженъ. Возбужденный такимъ образомъ токъ означенъ на фиг. 575 стрѣлкою. Онъ замыкается въ тѣлѣ самаго диска какъ означено пунктиромъ. Такъ какъ индуктивное возбужденіе требуетъ нѣкотораго времени чтобы обнаружиться со всею силою соотвѣтствующею данному случаю, то направленіе тока возбужденнаго въ дискѣ уходитъ нѣсколько впередъ сравнительно съ направленіемъ магнита, какъ и означено стрѣлкою *mn*, представляющею направленіе въ какомъ происходитъ движеніе электричества. Направленіе это, при данной скорости и данномъ положеніи магнита, остается неизмѣннымъ въ пространствѣ, хотя частицы диска имъ захватываемыя безпрерывно мѣняются вслѣдствіе вращенія этого послѣдняго. Касаясь металлическими пробочками, отъ которыхъ проволоки проведены къ гальванометру, опредѣленныхъ пунктовъ вращающагося диска и сохраняя пробочки неподвижно въ прикосновеніи съ проходящимъ подъ ними дискомъ, можно обнаружить токи возбуждаемые въ дискѣ.



Фиг. 575.

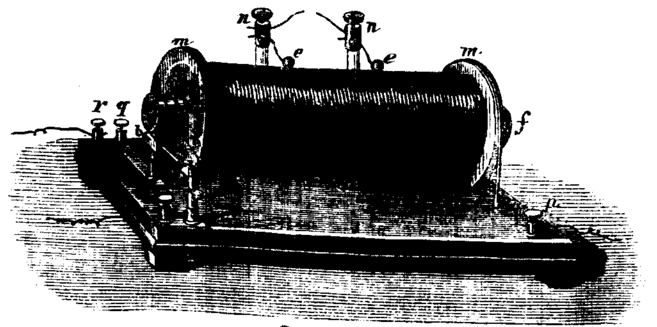
§ 399. Опытъ Фуко надъ переходомъ работы въ теплоту. Между полюсами сильнаго электромагнита помѣщается мѣдный дискъ приводимый въ быстрое вращеніе помощію системы зубчатыхъ колесъ. Пока токъ электромагнита не замкнутъ, и снарядъ не оказываетъ магнитнаго дѣйствія, рукоятка сообщающая вращеніе диску легко приводится въ движеніе и сохраняетъ его нѣкоторое время послѣ того какъ вращающая рука отнята. Но замкнемъ токъ. Электромагнитъ пріобрѣтаетъ магнитныя свойства и тотчасъ обнаруживаетъ индуктивное дѣйствіе на дискъ: вращать его сдѣлается трудно, какъ будто въ снарядѣ появилось значительное треніе, которое надлежитъ побѣдить. При этомъ, если вопреки останавливающему дѣйствію магнита, продолжать быстро вращать дискъ, то дискъ этотъ *нагрѣвается* до 40°, 50° и болѣе градусовъ. Излишекъ работы ведетъ за собою развитіе теплоты. Опытъ представляетъ переходъ механической работы въ теплоту путемъ развитія индуктивныхъ токовъ. Взаимодѣйствіе магнита и вращающагося диска порождаетъ въ этомъ дискѣ индуктивные токи. Токи эти его нагрѣваютъ. Механическая работа порождаетъ, слѣдовательно, движеніе электричества, въ свою очередь разрѣшающееся явленіемъ теплоты.

Еще прежде Фуко, Джоль (1845) приводилъ въ движеніе между полюсами сильнаго электромагнита индуктивную катушку и наблюдалъ съ одной стороны механическую работу потребную для преодолѣнія взаимодѣйствія магнита и возбуждаемыхъ имъ въ бобинѣ индуктивныхъ токовъ, съ другой стороны нагрѣваніе испытываемое индуктивною проволокой отъ проходящихъ въ нее токовъ. Опытъ служилъ для опредѣленія *механическаго эквивалента теплоты*, и это была первоначальная метода, какою пользовался Джоль для приблизительнаго опредѣленія этого важнаго элемента теоріи теплоты.

§ 400. Индуктивный снарядъ Румкорфа. Имѣя въ виду помощію индуктивныхъ дѣйствій произвести явленія электрическаго напряженія подобныя тѣмъ какія производятся помощію электрической машины(явленія

статическаго электричества) французскій ученый Массонъ въ сотрудничествѣ Бреге (Bréguet), около 1842 г. устроилъ индуктивную бобину съ большимъ числомъ оборотовъ старательно изолированной проволоки я получилъ свѣтъ въ пустотѣ, заряженіе конденсатора и другія электрическія явленія; обнаружилъ вмѣстѣ съ тѣмъ значительную разницу въ напряженіи прямаго и обратнаго индуктивныхъ токовъ. Въ 1851 г. Румкорфъ *), пользуясь отчасти указаніями опытовъ Массона и Бреге, устроилъ свой знаменитый снарядъ, обративъ особенное вниманіе на самое тщательное изолированіе тонкой индуктивной проволоки. Постепенными усовершенствованіями снарядъ этотъ доведенъ нынѣ до поразительной силы. Заимствуя силу отъ гальванической батареи, онъ производитъ всѣ дѣйствія статическаго электричества: заряжаетъ лейденскія банки съ быстротою и энергіею симой сильной электрической машины; даетъ искры болѣе тридцати центиметровъ длиною и т. д.

Снарядъ (фиг. 576) какъ и всякій индуктивный при-

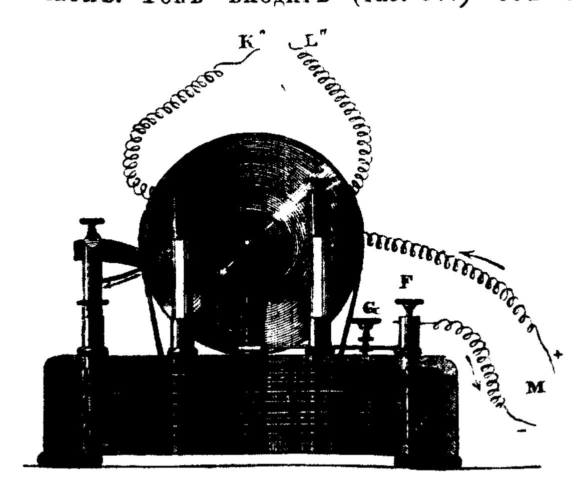


Фиг. 576.

боръ, дѣйствующій чрезъ замыканіе и прерываніе тока, состоитъ изъ двухъ проволокъ. Одна, внутренняя,

*) Знаменитый парижскій мастеръ, родомъ изъ Ганновера. Правильнѣе *Рюмкорфъ*, ибо имя по нѣмецки пишется *Rühmkorff*. За снарядъ получилъ премію Наполеона III въ 50000 франковъ.

сравнительно толстая и дѣлающая незначительное число оборотовъ (около 300) представляетъ собою индуктирующую катушку, внутри которой вложенъ пучекъ желѣзныхъ проволокъ для усиленія дѣйствія. Онъ помѣщается внутри изолирующаго цилиндра изъ твердаго каучука. Наружная, индуктивная проволока тонкая (около $^1/_4$ милл.), навита на изолирующій цилиндръ, дѣлаетъ до 30000 и болѣе оборотовъ и тщательно изолирована въ массѣ мастики. Полюсы гальванической батареи соединяются съ концами толстой проволоки. Прерываніе и замыканіе тока въ толстой проволокѣ производится или чрезъ самопрерываніе, по системѣ молоточка, или помощію особаго отдѣльнаго прерывателя (такъ всегда бываетъ въ снарядахъ большихъ размѣровъ). Въ снарядѣ изображенномъ на фиг. 576 и 577 прерываніе производится молоточкомъ. Токъ входитъ (фиг. 577) отъ *M* въ



Фиг. 577.

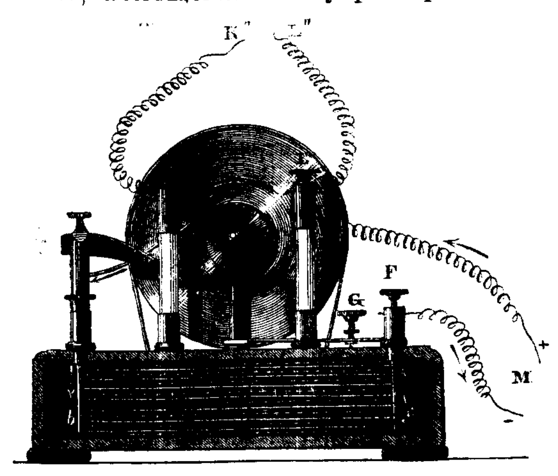
толстую проволоку; пробѣжавъ ея обороты онъ выходитъ сообщаясь съ ножкою *B*, проходитъ далѣе чрезъ желѣзный молоточекъ и наковальню *D* въ

ножку F и оттуда къ другому полюсу батареи. Но едва токъ установился,—желѣзныя проволоки внутри индуктирующей катушки намагничиваются и конецъ ихъ O притягиваетъ желѣзный молоточекъ. Молоточекъ подымается съ наковальни, и чрезъ это при D происходитъ перерывъ тока, сопровождающійся искрою. Едва токъ прервался,—проволоки утрачиваютъ намагниченіе, и молоточекъ вновь опускается на наковальню, возстановляя сообщеніе, за которымъ вновь слѣдуетъ намагниченіе, поднятіе молоточка прерывающее токъ и т. д. Быстроту перерывовъ можно регулировать помощію винтика G. Если проволоки K'' и L'', идущія отъ столбиковъ K и L, къ которымъ проведены концы внѣшней тонкой проволоки снаряда, соединить между собою, то тонкая проволока вмѣстѣ съ продниками K'' и L'' представитъ замкнутую цѣпь, въ которой, при каждомъ замыканіи тока въ толстой проволокѣ, будетъ пробѣгать индуктивный обратный токъ, при каждомъ прерываніи—прямой.

Если между K'' и L'' оставить промежутокъ, то при замыканіи не замѣтимъ никакого явленія (обратный индуктивный токъ не довольно напряженъ чтобы побѣдить сопротивленіе слоя воздуха); но при прерываніи между концами произойдетъ искра порождаемая прямымъ индуктивнымъ токомъ и имѣющая видъ молніеобразнаго зигзага если промежутокъ довольно значителенъ (искра при сильномъ дѣйствіи бываетъ болѣе 30 центиметровъ длиною).

Если концы проволоки K'' и L'' близки между собою то искра имѣетъ видъ рѣзкой бѣлой струи свѣта окруженной широкимъ красноватымъ сіяніемъ. Это красноватое пламя повинуется механическому дѣйствію потока воздуха и если дуть на него, сдувается въ одну сторону. Бѣлая полоса имѣетъ подобіе съ мгновеннымъ разрядомъ лейденской банки, свѣтлый ореолъ подобенъ дугѣ гальваническаго свѣта. Наибольшее *количество* электричества разряжается, повидимому, этимъ путемъ, но наибольшее *напряженіе* обнаруживаетъ та часть которая образуетъ бѣлую струю.

Физо указалъ средство значительно усилить дѣйствіе снаряда присоединеніемъ къ толстой индуктирующей проволокѣ *конденсатора* съ большою поверхностію, помѣщеннаго внутри деревянной доски,

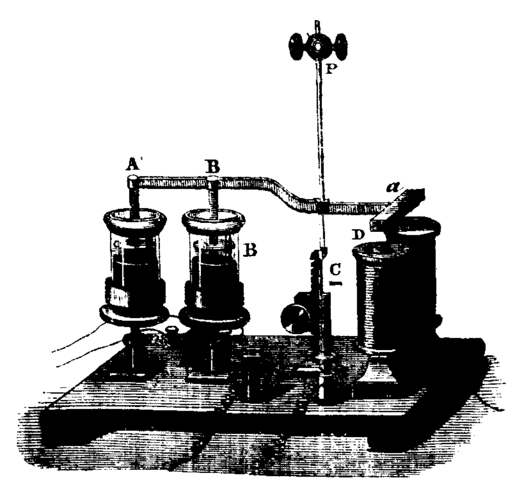


Фиг. 578.

служащей основаніемъ снаряда. Конденсаторъ состоитъ изъ многократно сложенной тафтяной полосы, обложенной съ двухъ сторонъ тонкими оловянными листами. Одна изъ обкладокъ находится въ сообщеніи со столбикомъ B несущимъ молоточекъ, другая со столбикомъ F соединеннымъ съ наковальнею; другими словами, обкладки конденсатора соединены съ индуктирующей цѣпью около мѣста гдѣ замыкается и прерывается ея токъ. Когда конденсаторъ въ дѣйствіи, искра, сопровождающая перерывъ тока и происходящая отъ экстра-тока индуктирующей проволоки, значительно уменьшается, ибо главная часть электричествъ которыя соединились бы при точкѣ D отвлекается въ конденсаторъ, который и заряжается, съ одной стороны положительнымъ, съ другой отрицательнымъ электричествомъ. Собравшись въ конденсаторъ,

эти электричества тотчасъ вновь соединяются, ибо обкладки чрезъ толстую проволоку и самую батарею находятся между собою въ проводящемъ сообщеніи. Разрядъ проходитъ въ направленіи противоположномъ направленію тока батареи и быстро размагничиваетъ пучокъ желѣзныхъ проволокъ внутренней катушки. Чрезъ это прямой индуктивный токъ (соотвѣтствующій прерыванію) дѣлается кратковременнѣе и потому напряженнѣе. Этимъ объясняется дѣйствіе конденсатора.

Въ большихъ снарядахъ Румкорфа употребляется отдѣльный *прерыватель Фуко* (фиг. 579) независящій отъ тока индукти-

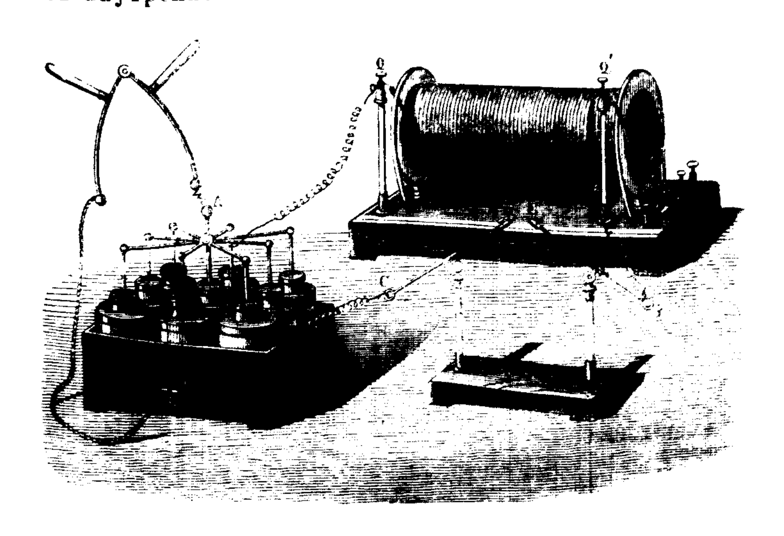


Фиг. 579.

рующей проволоки. Замыканіе и прерываніе производится чрезъ погруженіе металлическаго кончика A въ покрытую слоемъ алкоголя ртуть чашечки и выниманіе его изъ нея. При этомъ ртуть соединена съ однимъ полюсомъ батареи. стержень ABC, чрезъ индуктирующую бобину, съ другимъ полюсомъ. Еслибы мы рукою наклонили полоску мягкаго желѣза a находящуюся на концѣ стержня ABa то A вышелъ бы изъ ртути, и токъ въ индуктирующей проволокѣ былъ бы прерванъ. Но предоставленная себѣ полоса a, вслѣдствіе упругости пружины CP снова поднялась бы, и кончикъ вновь опустился бы въ

ртуть чашечки, замыкая токъ. Въ снарядѣ полоса a опу-
скается не рукою а притяженіемъ небольшаго электромагни-
та D, въ который пропускается токъ отъ особо стоящихъ
одного или двухъ гальваническихъ элементовъ, токъ кото-
рыхъ проходитъ чрезъ ртуть второй чашечки B' и опу-
щенный въ нее металлическій кончикъ. Какъ скоро замкнет-
ся токъ малой батареи, электромагнитъ D намагничивается,
желѣзо a притягивается, металлическіе кончики какъ въ первой
чашечкѣ такъ и въ чашечкѣ B выйдутъ изъ ртути. Чрезъ это
какъ индуктирующій токъ, такъ и мѣстный токъ приводящій
въ дѣйствіе электромагнитъ D прервутся. Но съ прекраще-
ніемъ тока въ электромагнитѣ D, онъ потеряетъ силу и полоса
a подымется, погружая кончики A и B въ ртуть и слѣдова-
тельно замыкая оба тока, какъ индуктирующій, такъ и токъ элек-
тромагнита D и т. д. Ртуть первой чашечки и стержень ABC соеди-
нены, кромѣ того съ конденсаторомъ чтобы уводить экстра-
токъ. Грузъ P подымающійся и опускающійся служитъ къ то-
му чтобы регулировать движеніе пружины CP.

Чтобы зарядить лейденскую банку или батарею Румкорфовымъ снарядомъ, должно полюсы Q и Q' (фиг. 580) индуктивной (тонкой) проволоки сообщить съ внутренней и внѣшней обкладками батареи, оста-

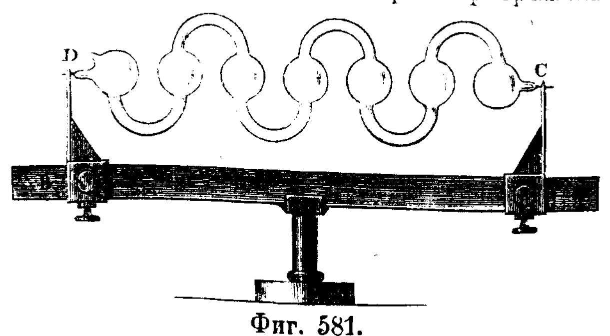


Фиг. 580.

вивъ на пути одного изъ этихъ соединеній, напримѣръ при DE, перерывъ. Какъ скоро снарядъ приведенъ въ дѣйствіе, въ перерывѣ обнаруживается искра прямаго индуктитнаго тока, соотвѣтствующаго моментамъ прерыванія. Одна обкладка получаетъ положительное, другая отрицательное электричество; батарея быстро заряжается и помощію разрядника можетъ быть разряжена обыкновеннымъ способомъ.

Еслибы при DE не было перерыва, то оба тока, и прямой и обратный, проникали бы въ батарею, и она не получила бы постояннаго заряда. Но если, конецъ разрядника держать въ близкомъ разстояніи отъ шарика A, то при A получается непрерывно бьющая индуктивная искра, отличающаяся отъ длинной искры бьющей въ перерывѣ проволокъ идущихъ отъ полюсовъ снаряда (напримѣръ въ промежуткѣ DE общаго разрядника при непосредственномъ соединеніи концевъ F и C съ полюсами Q и Q') тѣмъ что она значительно короче, но въ то же время гуще и энергичнѣе. Въ этомъ случаѣ электричества отъ полюсовъ Q и Q' не прямо соединяются чрезъ слой воздуха, а предварительно входятъ въ обкладки банки.

Разрядъ Румкорфова снаряда чрезъ безвоздушное пространство производитъ замѣчательныя явленія электрическаго сіянія, болѣе напряженнаго чѣмъ отъ обыкновенныхъ электрическихъ машинъ. Для опытовъ служатъ такъ-называемыя Гейсслеровы трубки (фиг. 581), содержащія въ себѣ, въ крайне разрѣженномъ



Фиг. 581.

состояніи, воздухъ, разные газы или пары (напримѣръ, спирта, эѳира, сѣрнистаго углерода и т. д.).

Электрическое сіяніе въ Гейсслеровыхъ трубкахъ обыкновенно представляетъ многія поперечныя темныя полосы. Явленіе именуется *стратификаціей* электрическаго свѣта; его причины еще не объяснены достаточно.

Полоса электрическаго сіянія въ пустотѣ можетъ быть разсматриваема какъ свѣтящаяся вѣтвь электрическаго тока. При надлежащемъ расположеніи опыта, магнитъ можетъ оказать на нее притягательное, отталкивательное, вращательное дѣйствіе какъ вообще на вѣтвь тока.

§ 401. Сѣверное сіяніе. По поводу опытовъ съ электрическимъ сіяніемъ въ разрѣженныхъ газахъ упомянемъ о *сѣверномъ сіяніи*, величественномъ явленіи несомнѣнно электрическаго происхожденія. Гумбольдъ такъ описываетъ различныя фазы этого явленія, когда оно обнаруживается въ полномъ блескѣ.

„Глубоко на горизонтѣ, около того мѣста, гдѣ онъ пересѣкается магнитнымъ меридіаномъ, небо, предъ тѣмъ свѣтлое, начинаетъ помрачаться. Тутъ образуется постепенно какъ-бы плотная туманная стѣна, понемногу подымающаяся и достигающая высоты 8 или 10 градусовъ.... Въ этой помраченной части неба звѣзды виднѣются какъ сквозь густой дымъ. Широкая и ясносвѣтящаяся дуга свѣта, сначала бѣлая потомъ жолтая, обнимаетъ края темнаго сегмента... Дуга, свѣта остается иногда цѣлые часы въ безпрестанномъ броженіи и колебаніи, принимая разнообразныя формы, прежде нежели вырвутся изъ нея лучи и снопы лучей, и, извиваясь, поднимутся до зенита. Чѣмъ сильнѣе идутъ взрывы сѣвернаго сіянія, тѣмъ живѣе играютъ въ немъ краски, переходя отъ фіолетоваго и синевато-бѣлаго цвѣта, чрезъ всѣ переливы, до зеленаго и пурпуроваго. Точно также и въ обыкновенномъ, возбужденномъ треніемъ, электричествѣ, искры тогда только разноцвѣтно окрашиваются, когда послѣ большаго напряженія происходитъ сильный разрядъ. Огненные столбы, перемѣшаные съ чорными, густому дыму подобными струями, подымаются то изъ изъ одной точки свѣтлой дуги, то въ одно время на многихъ противоположныхъ пунктахъ горизонта и соединяются въ трепещущее, пламенное море, котораго великолѣпіе не можетъ передать никакое изображеніе, ибо въ каждое мгновеніе его свѣтящіяся волны измѣняютъ свой видъ, принимая разнообразнѣйшія формы. Около пункта небеснаго свода, соотвѣтствующаго пересѣченію его съ продолженнымъ направленіемъ стрѣлки наклоненія, скопляются наконецъ лучи и образуютъ такъ-называемый *вѣнецъ* сѣвернаго сіянія: онъ, представляя собою вершину *небеснаго шатра*, обливаетъ его своимъ кроткимъ блескомъ и тихо, безъ волненій, льющимся свѣтомъ. Только въ рѣдкихъ случаяхъ явленіе достигаетъ до полнаго образованія вѣнца: имъ

оно всегда приходитъ къ концу. Лучи становятся всегда вслѣдъ за этимъ рѣже, короче, менѣе разцвѣченными. Вѣнецъ и всѣ свѣтлые лучи исчезаютъ. На цѣломъ небесномъ сводѣ виднѣются одни неправильно-разсѣянныя, неподвижныя пятна, широкія, блѣдныя, почти пепельно-сѣровато свѣтящіяся: и они наконецъ исчезаютъ, но слѣды темнаго, дымообразнаго сегмента остаются еще въ глубинѣ горизонта.“

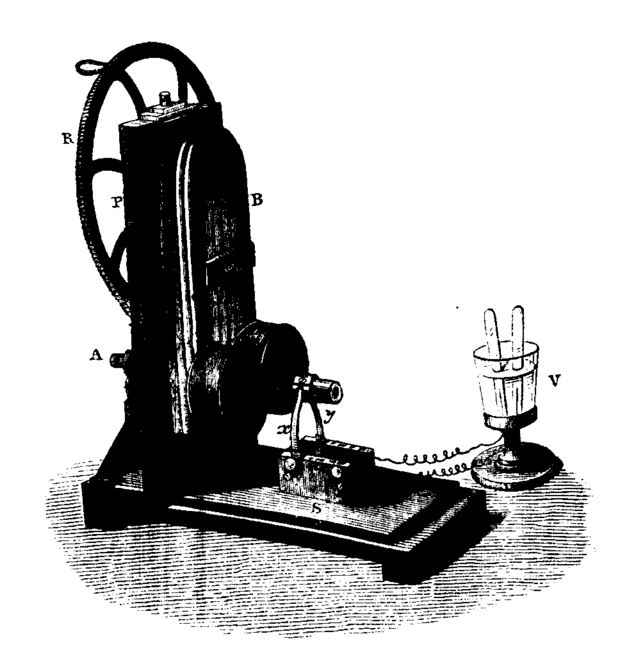
Явленіе объясняютъ соединеніемъ, въ околополярныхъ мѣстностяхъ, положительнаго электричества верхнихъ слоевъ атмосферы,—приносимаго экваторіальнымъ воздушнымъ потокомъ и доставляемаго, должно думать, испареніями тропическихъ морей,—съ отрицательнымъ электричествомъ земли. Соединеніе сопровождается сіяніемъ обнаруживающимся въ высшихъ разрѣженныхъ слояхъ, а, вѣроятно, отчасти и ближе къ землѣ, въ области гдѣ уже образуются облака. Разрядъ отъ мѣста своего образованія, кажущагося издали свѣтлою дугою сіянія, распространяется въ формѣ полосъ идущихъ въ пространствѣ параллельно стрѣлкѣ наклоненія какъ бы по линіямъ магнитной силы. Появленіе вѣнца есть дѣйствіе перспективы для наблюдателя надъ головою котораго полосы простираются, какъ бы сходясь въ удаленіи.

Два факта служатъ главнымъ подтвержденіемъ электрической теоріи сѣвернаго сіянія. Во-первыхъ, замѣченное еще въ прошломъ вѣкѣ возмущеніе магнитной стрѣлки во время сѣвернаго сіянія (стрѣлка находится въ состояніи качанія, отступая отъ магнитнаго меридіана). Отступленіе и качанія стрѣлки замѣчаются (Араго) не только въ тѣхъ мѣстностяхъ гдѣ наблюдается сіяніе, но часто на значительномъ удаленіи отъ мѣста явленія (сіяніе въ Швеціи, колебанія въ Парижѣ и т. под.). Во вторыхъ, прекращеніе правильнаго дѣйствія электрическихъ телеграфовъ вслѣдствіе того что въ проволокѣ оказывается токъ независящій отъ дѣйствующей батареи. Тотъ и другой фактъ объяснятся, если припишемъ явленіе потоку электричества, невидимо текущаго пока онъ проходитъ въ толщѣ земли и производящаго сіяніе при движеніи въ разрѣженныхъ слояхъ воздуха. Измѣненія въ положеніи стрѣлки представляютъ случай дѣйствія тока на магнитъ, какъ въ опытѣ Эрстеда; токъ телеграфной проволоки объясняется отвлекаемою въ эту проволоку вѣтвію земнаго тока.

Въ послѣдніе годы спектральный анализъ былъ приложенъ къ изученію свѣта сѣвернаго сіянія. Спектръ свѣта сѣвернаго сіянія, какъ оказалось, имѣетъ довольно яркую линію въ желтомъ свѣтѣ и нѣсколько болѣе широкихъ, но значительно менѣе яркихъ полосъ въ другихъ частяхъ спектра; онъ болѣе всего приближается къ спектру азота и повидимому представляетъ измѣненіе спектра воздуха въ зависимости отъ особыхъ условій (въ особенности отъ низкой температуры) въ какихъ находится воздухъ въ высшихъ слояхъ.

Основателемъ электрической теоріи сѣвернаго сіянія считается Франклинъ. Одновременно съ нимъ въ срединѣ прошлаго столѣтія Кантонъ и Ломоносовъ, усматривая сходство между явленіемъ электрическаго свѣта въ безвоздушномъ пространствѣ и сѣвернымъ сіяніемъ, также пришли къ заключенію что сѣверное сіяніе есть электрическое явленіе. Франклинъ выразилъ свою гипотезу въ формѣ довольно подходящей къ нынѣ принятому ученію.

§ 402. Магнито-электрическія машины. Машина ус-
троенная въ 1836 году англійскимъ мастеромъ Клар-
комъ (Clarke), и до нынѣ употребляемая въ физическихъ
кабинетахъ представляетъ примѣръ магнито-электри-
ческихъ машинъ, то-есть снарядовъ въ которыхъ элек
трическій токъ возбуждается дѣйствіемъ магнита на
движущуюся въ его сосѣдствѣ индуктивную бобину.
Сильный подковообразный магнитъ (фиг. 582) помѣ-



Фиг. 582.

щается вертикально, двѣ укрѣпленныя на оси индуктив-
ныя бобины вращаются предъ его полюсами, будучи при-
водимы въ быстрое движеніе колесомъ съ рукояткою.
При каждомъ полуоборотѣ, какъ въ одной, такъ и въ
другой бобинѣ, возбуждается индуктивный токъ вслѣд-
ствіа удаленія каждой изъ нихъ отъ одного изъ по-
люсовъ магнита и приблиѫенія къ другому. Такъ
какъ обѣ бобины образованы одною и тою же про-
волокой намотанною въ нихъ въ противополож-
номъ направленіи, то въ обѣихъ возбуждается общій
индуктивный токъ опредѣленнаго направленія. Но что-
бы токъ выходилъ изъ снаряда въ постоянномъ на-
правленіи, ось оканчивается *коммутаторомъ*, состоя-
щимъ кзъ двухъ половинокъ раздѣленныхъ непро-
водникомъ и сообщающихся одна съ однимъ концомъ
индуктивной проволоки, другая съ другимъ. Пружи-
ны x и y прикасаются при каждомъ полуоборотѣ по-
перемѣнно къ одной и другой половинкѣ, а такъ
какъ перемѣна прикосновенія совпадаетъ съ пе-
ремѣною направленія тока въ бобинахъ, то пружины
x и y проводятъ токъ въ соединяющій ихъ провод-
никъ всегда въ одномъ и томъ же направленіи. Если
провести проволоки къ вольтаметру, то можно раз-
ложить воду. Если окончить ихъ цилиндрами, кото-
рые наблюдатель беретъ въ руки, то испытываются
сильныя сотрясенія. Можно нагрѣвать проволоки и т.
д. Для разныхъ цѣлей бобины берутся или пзъ многихъ
оборотовъ тонкой проволоки или изъ сравнительно
малаго числа оборотовъ болѣе толстой проволоки.

Магнито-электрическія машины представляютъ собою слу-
чай преобразованія механической работы въ электрическій
токъ; а такъ какъ механическую работу можно, помощію па-
ровой машины, произвести за сравнительно дешевую цѣну, то
машины эти суть наиболѣе дешевый источникъ электрической
силы. При распространеніи употребленія электрическаго свѣ-
та (особенно для маяковъ усилія многихъ изобрѣтателей на-
правились къ тому чтобы устроить магнито-электрическія
машины большихъ размѣровъ, способныя давать токъ не усту-

пающій въ силѣ батареи изъ шестидесяти, семидесяти и бо-
лѣе элементовъ Бунзена. Большая машина французской фа-
брикаціи, по системѣ бельгійскаго физика Ноллета, основана
на томъ же принципѣ какъ машина Кларка. Новыя машины
Уильда, Сименса, Ледда основаны на иныхъ началахъ, интерес-
ныхъ и въ теоретическомъ отношеніи.

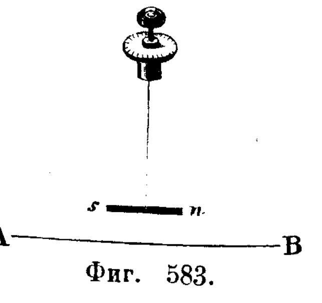
Важное усовершенствованіе въ устройствѣ индуктивныхъ бо-
бинъ для магнито-электрическихъ машинъ было сдѣлано въ по-
слѣдніе годы Сименсомъ. Ядро бобины Сименса дѣлается изъ
цилиндра мягкаго желѣза, изъ котораго часть вырѣзана такъ
что онъ принимаетъ форму двухъ цилиндрическихъ бляхъ сое-
диненныхъ перегородкою. На эту перегородку вдоль оси на-
матывается индуктивная проволока так что бобина получа-
етъ вновь цилиндрическую форму. Бобина помѣщается между
полюсами ряда магнитовъ, такъ что совокупность ихъ предста-
вляетъ длинную полярную поверхность въ близкомъ разстоя-
ніи отъ бобины, которой можетъ быть дана значительная ско-
рость.

Такія бобины употребляются въ магнито-электрической ма-
шинѣ Уильда (Wilde) и въ *динамо-электрической машинѣ*
Ледда. Машина Уильда состоитъ изъ ряда стальныхъ
магнитовъ между полюсами которыхъ съ значительною ско-
ростію вращается бобина Сименса. Индуктивный токъ воз-
буждающійся въ этой бобинѣ проводится въ проволоку силь-
наго электромагнита изъ двухъ большихъ досокъ мягкаго же-
лѣза. Электро-магнитъ сильно намагничивается и въ свою
очередь возбуждаетъ индуктивный токъ въ другой большой
бобинѣ Сименса, движущейся между его полюсами. Токъ этой
бобины пріобрѣтаетъ огромную силу, такъ что снарядъ можетъ
служить для произведенія яркаго электрическаго свѣта.

Въ машинѣ Ледда вовсе не употребляется искусственныхъ
магнитовъ. Небольшаго остаточнаго магнетизма желѣза разъ
намагниченнаго достаточно чтобы произвести дѣйствіе. Сна-
рядъ представляетъ собою электро-магнитъ получающій маг-
нитную силу не отъ гальваническаго тока, а отъ индуктивнаго
дѣйствія слабаго остаточняго магнетизма желѣзныхъ досокъ
электро-магнита (чрезъ проволоку котораго хоть разъ былъ
пропущенъ токъ) на индуктивную катушку вращающуюся ме-
жду его полюсами. Снарядъ устроенъ такъ что индуктивный
токъ, въ началѣ очень слабый, возбужденный въ бобинѣ, вхо-
дитъ въ проволоку породившаго его электро-магнита и усилива-
етъ магнитность его желѣза. Это усиленіе въ свою очередь
имѣетъ послѣдствіемъ усиленіе индуктивнаго тока ведущее
за собою новое усиленіе магнита и т. д., такъ что снарядъ
чрезъ нѣсколько времени становится очень сильнымъ элек-
тро-магнитомъ, дѣйствіемъ котораго и возбуждается силь-
ный индуктивный токъ во второй катушкѣ Сименса. Этимъ
токомъ пользуются для произведенія электрическаго свѣта и
другихъ дѣйствій сильнаго тока.

VII. Общая теорія электрическаго тока.

§ 403. Понятіе о силѣ тока. *Сила* или *напряженіе* тока проходящаго чрезъ какой-нибудь проводникъ измѣряется его дѣйствіемъ на магнитную стрѣлку помѣщенную въ сосѣдствѣ этого проводника. Если сила съ какою токъ стремится вывести стрѣлку изъ ея положенія равновѣсія будетъ вдвое болѣе, то исила тока считается вдвое болѣе. Германскій ученый Омъ (1826 г.) для измѣренія величины дѣйствія тока на стрѣлку пользовался пріемомъ Куломба: помѣстивъ проволоку чрезъ которую проходитъ токъ, параллельно магнитному меридіану, онъ вѣшалъ надъ нею магнитную стрѣлку (фиг. 583) на нити; токъ стремился отклонить стрѣлку, но вращая головку, Омъ закручивалъ нить до тѣхъ поръ пока стрѣлка оставалась въ положеніи равновѣсія не смотря на дѣйствія тока. Дѣйствіе тока уравновѣшивалось, слѣдовательно, крученіемъ нити, а изъ изслѣдованій Куломба извѣстно что сила крученія пропорціональна углу крученія, такъ что если въ одномъ случаѣ,—дабы удержать стрѣлку въ меридіанѣ не смотря на дѣйствіе тока—головку надо повернуть на 450° (то-есть полный оборотъ и еще 90°), а въ другомъ на 225°, то значитъ сила гонящая стрѣлку и уравновѣшивающаяся крученіемъ нити во второмъ случаѣ вдвое менѣе чѣмъ въ первомъ. О другихъ болѣе удобныхъ способахъ измѣренія дѣйствія тока будетъ сказано въ слѣдующемъ отдѣлѣ. Согласно изслѣдованіямъ Фарадея и другихъ

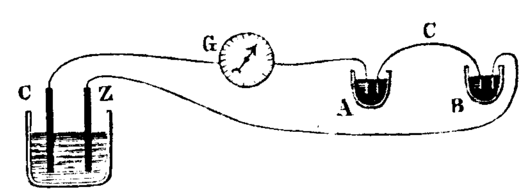


Фиг. 583.

ученыхъ, дѣйствіе тока на стрѣлку (§ 372), а слѣд. и сила тока пропорціональны количеству электричества проходящаго въ цѣпи въ данное время.

Изслѣдуя силу тока въ разныхъ пунктахъ цѣпи, Омъ убѣдился что сила эта одинакова на всемъ протяженіи цѣпи. Отсюда слѣдуетъ что, при постоянномъ токѣ, чрезъ каждое сѣченіе цѣпи проходитъ въ данное время одинакое количество электричества.

§ 404. Понятіе о сопротивленіи проводника. Слѣдующій опытъ, первоначальная мысль котораго принадлежитъ Ому, позволяетъ составить ясное представленіе о томъ что̀ именуется *сопротивленіемъ* проводника. Отъ полюсовъ C и Z гальваническаго элемента проведемъ проволоки и опустимъ ихъ концами въ чашечки со ртутью A и B. Надъ одной изъ проволокъ помѣстимъ магнитную стрѣлку или, какъ показано на фиг. 584, введемъ въ цѣпь гальванометръ G.



Фиг. 584.

Пока чашечки не соединены проводникомъ, стрѣлка остается въ покоѣ. Но соединимъ чашечки помошію короткой и толстой проволоки C. Стрѣлка отклонится Если замѣнимъ короткую проволоку, другою болѣе длинною, то замѣтимъ что отклоненіе стрѣлки а слѣдовательно и сила тока будетъ менѣе. Ослабленіе будетъ тѣмъ значительнѣе чѣмъ длиннѣе проволока соединяющая чашечки A и B. Если проволоку, которая, допустимъ, была изъ серебра, замѣнимъ другою, той же длины, но изъ иного матеріала, напримѣръ изъ желѣза, то ослабленіе отъ второй проволоки будетъ

иное чѣмъ отъ первой: отъ желѣзной будетъ значительнѣе чѣмъ отъ серебряной той же длины. Если, при той же длинѣ, возьмемъ проволоку болѣе тонкую, то послѣдняя ослабитъ токъ болѣе чѣмъ толстая. Описанныя явленія сводятся къ общему началу, если допустимъ что каждый проводникъ введенный въ цѣпь вноситъ съ собою нѣкоторое *сопротивленіе* движенію электричества и что сопротивленіе это тѣмъ значительнѣе чѣмъ тоньше проволока; далѣе что сопротивленіе это измѣняется смотря по природѣ проводника: желѣзо, напримѣръ, оказываетъ болѣе сопротивленія чѣмъ серебро. Вообще чѣмъ лучше тѣло проводитъ электричество тѣмъ менѣе его сопротивленіе.

Условимся считать за *единицу сопротивленія* сопротивленіе какой-нибудь опредѣленной проволоки напримѣръ мѣдной цилиндрической проволоки въ метръ длиною и миллиметръ толщиною*). Тогда сопротивленіе такой же проволоки въ два, три, четыре и т. д. метра длиною будетъ выражаться числами два, три, четыре и т. д., такъ какъ каждый метръ вноситъ свое сопротивленіе, равное сопротивленію каждаго другаго метра. Сопротивленіе проволоки изъ того же матеріала но другой толщины также легко выразить, взявъ въ соображеніе слѣдующее наблюденіе Ома. Взявъ двѣ проволоки изъ того же вещества, но разной длины и толщины и укорачивая ту которая болѣе ослабляла токъ до тѣхъ поръ пока онѣ производили одинаковое ослабленіе тока, Омъ нашелъ что двѣ такія проволоки оказываютъ одинакое сопротивленіе если *длины ихъ относятся между собою какъ площади ихъ сѣченій*: во сколько разъ сопротивленіе увеличивается отъ уве-

*) Весьма употребительная нынѣ *единица сопротивленія Сименса* есть сопротивленіе ртутнаго цилиндра въ метръ длиною, при миллиметрѣ площади сѣченія при 0°. Единица Сименса равняется 0,9564 „британской единицы сопротивленія въ абсолютной мѣрѣ“.

личенія длины проволоки, во столько разъ оно уменьшается отъ увеличенія площади ея сѣченія.

Потому если вмѣсто проволоки площадь сѣченія которой есть единица, возьмемъ проволоку площадь сѣченія которой есть ω, то длина x этой послѣдней оказывающая сопротивленіе равное единицѣ найдется изъ отношенія: $x:1=\omega:1$. Отсюда $x=\omega$, то-есть выражается тѣмъ же числомъ какъ сѣченіе. Если длина ω проволоки, сѣченіе которой есть ω, оказываетъ сопротивленіе равное единицѣ, то длина l той же проволоки будетъ оказывать сопротивленіе во столько разъ большее единицы во сколько число l болѣе числа ω. Оно будетъ слѣдовательно равно $\frac{l}{\omega}$.

Взявъ далѣе двѣ проволоки изъ *разныхъ* веществъ равнаго сѣченія, но разной длины, Омъ укорачивалъ ту которая обнаруживала болѣе сопротивленія до тѣхъ поръ пока ихъ ослабляющее дѣйствіе было одинаково и онѣ оказывали, слѣдовательно, равное сопротивленіе. Этимъ способомъ можно опредѣлить сравнительное сопротивленіе разныхъ металловъ. Такъ, при томъ же сѣченіи, 1000 единицъ длины серебра оказываютъ такое же сопротивленіе какъ 940 мѣди, 105 платины, 16 ртути, 12 висмута и т. д. Назвавъ отношеніе длины проволоки даннаго вещества къ длинѣ проволоки равнаго сопротивленія, но изъ матеріала принятаго за нормальный, буквою κ, можемъ сопротивленіе каждой проволоки выразить чрезъ сопротивленіе принятой за единицу. Согласно такому обозначенію, если l есть длина данной проволоки то длина x нормальной проволоки равнаго сопротивленія найдется изъ отношенія $\frac{l}{x}=\kappa$ и будетъ $x=\frac{l}{\kappa}$. Эта величина выразила бы въ принятыхъ единицахъ, сопротивленіе про-

волоки l еслибы ея сѣченіе было равно единицѣ. Если же сѣченіе ея есть ω, то, согласно предыдущему, должно величину $\frac{l}{k}$ раздѣлить еще на ω. Получимъ $\frac{l}{k\omega}$ Величина эта, выражающая длину нормальной проволоки оказывающую тоже сопротивленіе какъ данная проволока l именуется также *приведеннымъ сопротивленіемъ*. Назовемъ ее буквою λ. Имѣемъ

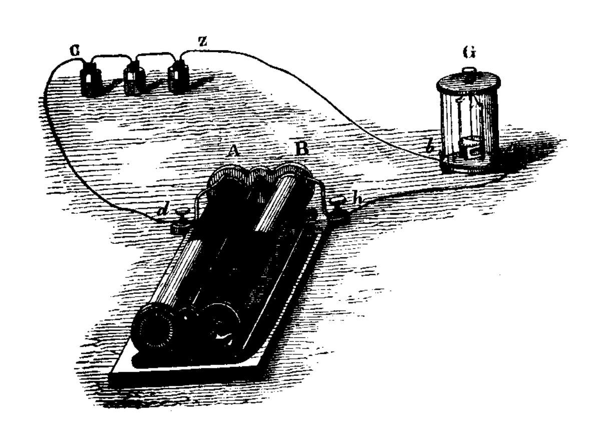
$$\lambda = \frac{l}{k\omega}\ ,\ \text{откуда}\quad \frac{1}{\lambda} = \frac{k}{l}\ .$$

Величина $\frac{1}{\lambda}$ обратно пропорціональная сопротивленію проволоки есть мѣра ея *электропроводности*. Эта величина тѣмъ болѣе чѣмъ толще и короче проволока и чѣмъ значительнѣе множитель k, именуемый *коеффиціентомъ электропроводности*. Наоборотъ, *сопротивленіе* прямо пропорціонально длинѣ проволоки и обратно пропорціонально ея сѣченію и коеффиціенту электропроводности матеріала изъ какого она сдѣлана.

Мы говорили о проволокахъ; приведенныя разсужденія имѣютъ приложеніе и вообще къ проводникамъ. Каждый проводникъ составляющій часть цѣпи вноситъ свойственное ему сопротивленіе, зависящее отъ его длины, толщины и матеріала. Сопротивленіе оказываютъ какъ твердыя такъ и жидкія части цѣпи; какъ проводники соединяющіе полюсы, такъ и проводники изъ коихъ состоитъ самая батарея. Послѣднее сопротивленіе именуется *внутреннимъ сопротивленіемъ* элемента или батареи. Въ случаѣ гидро-электрической батареи внутреннее сопротивленіе ея элементовъ имѣетъ значительную величину, такъ какъ

въ составъ ихъ входятъ жидкости, а жидкости вообще оказываютъ сопротивленіе несравненно большее чѣмъ металлы. Внутреннее сопротивленіе термо-электрическихъ элементовъ незначительно.

Для сравнительнаго опредѣленія сопротивленій употребляютъ снаряды именуемые *реостатами*. На фиг. 585 изображенъ *реостатъ Уитстона*. Онъ состоитъ изъ двухъ цилиндровъ, одного металлическаго, другаго непроводящаго. На цилиндры намотана металлическая проволока (непокрытая изолирующимъ слоемъ) которую, помощію рукоятокъ приводящихъ во вращеніе тотъ или другой цилиндръ, можно сматывать съ одного изъ этихъ цилиндровъ на другой. При этомъ проволока, наматываясь на непроводящій цилиндръ, облекаетъ его такъ что одинъ ея оборотъ не касается другаго (для этого на цилиндрѣ сдѣланы нарѣзыи), токъ долженъ пройти по каждому изъ оборотовъ. Проволока облекающая металическій цилиндръ составляетъ съ нимъ какъ бы одно металлическое тѣло, и входящій въ нее токъ распространяется чрезъ всю толщу цилиндра, представляющаго столь ничтожное сопротивленіе что имъ можно пренебрегать. При опредѣленіи сопротивленія реостата должно, слѣдовательно, принимать въ разчетъ лишь длину проволоки намотанной на непроводящій цилиндръ: всѣ обороты смотанныя на металлическій цилиндръ не имѣютъ значенія.



Фиг. 585.

Въ слѣдующей таблицѣ показаны сравнительныя величины сопротивленій разныхъ металловъ; причемъ сопротивленіе серебра принято за единицу.

Сопротивленіе металловъ:

Серебро	1
Мѣдь (обыкн. прод.)...	отъ 1,43 до 2,50
Золото	1,28
Желѣзо	6,67
Свинецъ	12,05
Платина	14,49
Ртуть	62, 5

Сопротивленіе жидкостей несравненно значительнѣе сопротивленія металловъ. Сопротивленіе воды съ сѣрной кислотой (на 9 объемовъ воды 1 объемъ кислоты) болѣе чѣмъ въ милліонъ разъ превосходитъ сопротивленіе серебра; азотной кислоты въ 900 тысячъ разъ; мѣднаго купороса раствореннаго въ водѣ—отъ 6 до 14 милліоновъ.

Сопротивленіе металловъ увеличивается съ повышеніемъ температуры (холодные металлы слѣдов. лучше проводятъ электричество чѣмъ теплые). Сопротивленіе жидкостей, напротивъ того, съ нагрѣваніемъ уменьшается; теплая жидкость лучше проводитъ чѣмъ холодная.

Внутреннее сопротивленіе элемента Даніеля, при тѣхъ же размѣрахъ, болѣе, внутренняго сопротивленія элемента Грова или элемента Бунзена. Внутреннее сопротивленіе элемента Даніеля среднихъ размѣровъ равняется сопротивленію метровъ 20 или 30 мѣдной проволоки въ миллиметръ толщиною; Бунзена менѣе: метровъ, напримѣръ, десять.

§ 405. Понятіе объ электродвижущей силѣ. Выше было уже сказано, что два разнородные прикасающіеся проводника обыкновенно, въ большей или меньшей степени, взаимно электризуются, причемъ—если оба изолированы,—одинъ пріобрѣтаетъ избытокъ положительнаго, другой избытокъ отрицательнаго электричества. Причина, производящая что явленіе именуется, какъ уже было сказано, *электродвижущею силою.* Въ гальваническомъ элементѣ его *электродвижущая сила* (точнѣе: совокупность дѣйствующихъ въ немъ электродвижущихъ силъ) есть причина электрическаго напряженія, обнаруживающагося на его полюсахъ когда онъ не замкнутъ. Разность этихъ напряженій

и есть мѣра электродвижущей силы элемента, которая въ разныхъ элементахъ бываетъ различна. Общая электродвижущая сила батареи происходитъ отъ совокупнаго дѣйствія электродвижущихъ силъ ея элементовъ. Она пропорціональна числу соединенныхъ въ батарею элементовъ, такъ какъ, согласно показанію опыта, напряженіе на полюсахъ незамкнутой батареи пропорціонально числу элементовъ. Электродвижушая сила элемента Даніеля почти вдвое менѣе электродвижущей силы элемента Грова. Сила элемента Бунзена не многимъ меньше силы элемента Грова.

§ 406. Зависимость силы тока отъ электродвижущей силы и сопротивленія цѣпи, открытая Омомъ. Омъ *) на основаніи своихъ опытовъ вывелъ законъ чрезвычайной важности, называемый по его имени *закономъ Ома.* Именно, Омъ доказалъ что *сила тока прямо пропорціональна электродвижущей силѣ и обратно пропорціональна сопротивленію цѣпи.* Если назовемъ силу тока буквою I, сопротивленіе буквою R, величину пропорціональную общей *электродвижущей*

---

*) Омъ (Ohm) родился въ Эрлангенѣ въ 1787 году, сынъ слесаря. Его отецъ, по своему состоянію весьма образованный человѣкъ, выбралъ для сына, по совѣту одного математика, учительскую карьеру. Но Омъ не былъ счастливъ на мѣста и до 1817 года, когда получилъ мѣсто учителя въ іезуитской коллегіи въ Кельнѣ, жилъ въ большой бѣдности. Въ 1827 г. издалъ свое, въ послѣдствіи сдѣлавшееся знаменитымъ, сочиненіе *Теорія гальванической цѣпи.* Сочиненіе это не было замѣчено и оцѣнено по достоинству; оскорбительный пріемъ въ министерствѣ въ Берлинѣ побудилъ Ома даже отказаться отъ мѣста въ Кельнѣ, и онъ семь лѣтъ опять жилъ въ самомъ стѣсненномъ положеніи. Въ 1833 г. баварское правительство дало ему мѣсто профессора въ Политехнической школѣ въ Нюренбергѣ. Въ 1841 году Лондонское Королевское Общество присудило ему медаль Коплея. Это имѣло большое значеніе для репутаціи Ома признаннаго, наконецъ, въ ряду первыхъ физиковъ Германіи. Въ 1849 г. Омъ переселился въ Мюнхенъ консерваторомъ физическихъ коллекцій, а въ 1852 г. назначенъ профессоромъ тамошняго университета. Умеръ въ 1854 году. Прибавимъ что въ

силѣ элемента или батареи буквою E, то *законъ Ома* выразится формулою

$$I = \frac{E}{R}$$

Сопротивленіе R есть сумма сопротивленій $r+r'+r''...$ различныхъ частей составляющихъ цѣпь, причемъ каждое предполагается выраженнымъ опредѣленною длиною проволоки принятой за нормальную. Такимъ образомъ теоретически цѣпь можно представлять себѣ какъ кольцо изъ нормальной проволоки, въ которомъ, вслѣдствіе дѣйствія электродвижущихъ силъ, движутся электрическія массы, причемъ, въ случаѣ постояннаго тока, чрезъ каждое сѣченіе цѣпи проходитъ въ данное время равное количество электричества.

Омъ открылъ свой законъ слѣдующимъ путемъ. Первые опыты, по способу указанному въ § 403, онъ производилъ съ гальваническимъ элементомъ изъ мѣди и цинка, опущенныхъ въ воду съ сѣрною кислотой, но вслѣдствіе непостоянства такого элемента, отказался отъ надежды найти этимъ путемъ зависимость силы тока отъ проводимости частей цѣпи. „Потому, прибавляетъ Омъ, я прибѣгъ къ термо-электрической цѣпи, на постоянство которой указывалъ мнѣ г. Поггендорфъ.“ Омъ составилъ термо-электрическій элементъ изъ согнутаго подъ прямымъ угломъ куска висмута, концы котораго винтами скрѣплялись съ мѣдными полосками. Одинъ конецъ элемента окружался кипящею водою, другой обкладывался тающимъ льдомъ. Отъ полюсовъ шли проволоки, опускавшіяся въ чашечки со ртутью; чрезъ ихъ соединеніе, помощію проволокъ разной длины, происходило замыканіе тока. Сила тока опредѣлялась, какъ указано въ § 403, дѣйствіемъ на магнитную стрѣлку, крученіемъ нити удерживаемую, вопреки гонящей силѣ тока, въ магнитномъ меридіанѣ. Мѣдныя проволоки, какими соединялись чашечки со ртутью, были послѣдовательно въ 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66, 130 дюймовъ длиною (7/8 линіи толщиною). Результатъ пяти рядовъ опытовъ означенъ въ слѣдующей таблицѣ:

1831 году германскій ученый Фехнеръ повѣрилъ законъ Ома помощію тщательныхъ опытовъ надъ гидро-электрическими элементами. Онъ пользовался элементами непостоянными, что много увеличивало трудность изслѣдованія. Наконецъ, французскій ученый Пулье, не зная о трудахъ Ома и изучая въ тридцатыхъ годахъ термо-электрическіе и гидро-электрическіе *постоянные* элементы (Даніеля), пришелъ къ тѣмъ же выводамъ какъ Омъ.

Длина введенной проволоки.	Сила тока измѣряемая угломъ крученія.				
	I	II	III	IV	V
2 дюйма	326¾	311¼	307	305¼	305
4 „	300¾	287	284	281½	282
6 „	277¾	267	263¾	259	258¼
10 „	238¼	230¼	226¼	224	223½
18 „	190¾	183½	181	178½	178
34 „	134½	129¾	128¾	124¾	124¾
66 „	83¼	80	79	79	78
130 „	48½	46	44½	44½	44

„Эти числа, говоритъ Омъ, весьма удовлетворительно выражаются уравненіемъ

$$I = \frac{a}{b+x}$$

гдѣ I есть сила тока измѣряемая магнитнымъ дѣйствіемъ, x длина (введеннаго въ цѣпь) проводника; a и b постоянныя величины, зависящія отъ электродвижущей силы и отъ сопротивленія остальныхъ частей цѣпи. Если принять (для описанныхъ опытовъ) что $b = 20¼$ (во всѣхъ пяти рядахъ опытовъ); и что a въ первомъ рядѣ равняется 7285, во второмъ 6965, третьемъ 6885, четвертомъ 6800 и пятомъ 6800, то вычисленіе произведенное по приведенной формулѣ даетъ слѣдующія числа для силы тока;

Длина проволоки.	Сила тока.				
	I	II	III	IV	V
2 дюйма	328	313	309½	305½	305½
4 „	300½	287¼	284	280½	280½
6 „	277½	265⅓	262⅓	259	259
10 „	240¾	230¼	228	224¾	224¾
18 „	190½	182	180	177¾	177¾
34 „	134½	128⅓	127	125¼	125¼
66 „	84¼	80¾	79¾	79	29
130 „	48½	46⅓	45¾	45	45

Если сравнимъ эти величины, полученныя вычисленіемъ, съ полученными путемъ опыта, то окажется самая незначительная разница, въ предѣлахъ какія можно ожидать отъ подобнаго рода опытовъ“... Чтобы еще болѣе провѣрить законъ, Омъ замѣнилъ проволоки служившія для опытовъ другими иной толщины (0,3 линіи), изъ латуни и длиною въ 2, 4, 8, 16 дюймовъ. Введенныя въ цѣпь проволоки эти дали силу тока (измѣряемую крученіемъ) 111½, 64¾, 37, 19¾, тогда какъ введенная въ цѣпь первая проволока предыдущихъ опытовъ обнаруживала

силу 305. Принявъ для коэффиціента b предыдущую его величину, для коэффиціента a величину соотвѣтствующую ряду гдѣ сила при введеніи мѣдной проволоки № 1 была 305, получимъ результаты вычисленія согласные съ данными опыта, если будемъ считать сопротивленіе одного дюйма сказанной латунной проволоки равносильнымъ сопротивленію $20\frac{1}{2}$ дюймовъ мѣдной. Такъ какъ величина b, зависящая отъ постоянной части цѣпи, сама потому постоянна во всѣхъ опытахъ и слагается съ длиною x, выражающей *сопротивленіе* данной проволоки какъ однородная величина съ однородною, то она очевидно, есть *сопротивленіе* элемента и его постоянныхъ соединеній. Сумма $b+x$ есть полное сопротивленіе цѣпи. И такъ: *сила тока обратно пропорціоналальна сопротивленію цѣпи.*

Омъ показалъ далѣе что величина a зависитъ отъ электродвижущей силы элемента. Такъ, поддерживая одинъ конецъ элемента при 0°, другой же оставляя при комнатной температурѣ ($7\frac{1}{2}$° Р) и вводя проволоки въ 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66, 130 дюймовъ, Омъ получилъ для силы тока числа 27, 25, $23\frac{1}{3}$, 20, $15\frac{1}{2}$, $10\frac{3}{4}$, $6\frac{1}{2}$, $3\frac{2}{3}$. Сохраняя предыдущую величину $b=20\frac{1}{4}$ Омъ опредѣлилъ a такъ чтобы $\frac{a}{22\frac{1}{4}}=27$. Получается $a=590\frac{3}{4}$. Предыдущая формула, если вставить въ нее указанныя величины a и b, весьма точно удовлетворяетъ даннымъ наблюденія. Видимъ слѣд. что a уменьшилось болѣе чѣмъ въ 10 разъ, тогда какъ b осталось безъ перемѣны. Этимъ подтверждается что b зависитъ отъ неизмѣняющейся части цѣпи, а a отъ электродвижущей силы, которая, какъ надо заключить изъ тѣхъ же опытовъ, пропорціональна разности температуръ въ мѣстахъ прикосновенія дѣйствующихъ металловъ.

§ 407. Приложеніе закона Ома къ случаю гальванической батареи. Имѣемъ n элементовъ которые соединимъ въ одну батарею, (цинкъ перваго съ углемъ или мѣдью втораго, цинкъ втораго съ угломъ или мѣдью третьяго и т. д.). Какова будетъ сила тока, если полюсы батареи соединимъ проводникомъ сопротивленіе котораго означимъ буквою r? Пусть электродвижущая сила каждаго элемента есть E; внутреннее сопротивленіе каждаго элемента R. Если бы мы имѣли одинъ элементъ замкнутый проводникомъ котораго сопротивленіе есть r, то напряженіе тока i было бы

$$i = \frac{E}{R+r} .$$

Если r очень мало сравнительно съ R, то можно принять $i = \frac{E}{R}$. Если, напротивъ, R очень мало сравнительно съ r, то $i = \frac{E}{r}$.

Въ случаѣ батареи общая электродвижущая сила пропорціональна числу элементовъ и есть nE если число элементовъ есть n. Общее сопротивленіе батареи будетъ также сумма сопротивленій отдѣльныхъ элементовъ, слѣдовательно nR. Напряженіе i тока выразится, слѣдовательно, формулою

$$i = \frac{nE}{nR+r} .$$

Формула это ведетъ къ важнымъ заключеніямъ. Допустимъ, напримѣръ, что замыкающее цѣпь сопротивленіе r очень мало: батарея замкута толстою и короткою проволокою. Тогда величиною r можно пренебречь сравнительно съ величиною nR, и напряженіе выразится

$$i = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R} ,$$

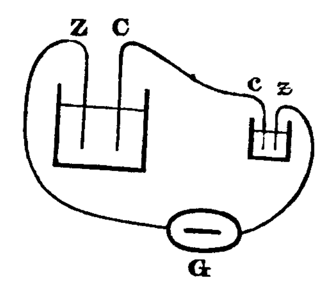
то-есть будетъ то самое какое имѣли бы еслибы вмѣсто батареи взяли одинъ элементъ. Такимъ образомъ, въ случаѣ соединительнаго проводника малаго сопротивленія, нѣтъ выгоды увеличивать число элементовъ. Но если, наоборотъ, r имѣемъ очень значительную величину, то изъ формулы видно что увеличеніе числа элементовъ имѣетъ прямое вліяніе на возрастаніе силы тока. Въ случаѣ еслибы r было такъ велико что предъ нимъ можно было бы пренебречь величиною nR, напряженіе тока было бы

$$i = \frac{nE}{r} ,$$

то-есть въ n разъ болѣе чѣмъ въ случаѣ одного элемента Итакъ, если соединительный проводникъ имѣетъ значительное сопротивленіе, то для полученія сильнаго тока должно брать значительное число элементовъ. Такъ бываетъ, напримѣръ, если надо разлагать воду, производить электрическій свѣтъ (въ послѣднемъ случаѣ токъ долженъ пройти чрезъ дурно проводящій газообразный слой раскаленныхъ частицъ образующихъ дугу электрическаго свѣта).

§ 408. Приложеніе закона Ома къ случаю нѣсколькихъ элементовъ соединенныхъ въ одинъ. Соединимъ n элементовъ не разноименными полюсами, какъ обыкновенно, но одноименными, то-есть всѣ цинки соединимъ между собою и всѣ угли между собою. Получится какъ бы одна банка большихъ размѣровъ, которой цинкъ и уголь въ n разъ болѣе размѣрами цинка и угля одного элемента. Какъ велико будетъ напряженіе тока, если полюсы такой банки соединимъ проводникомъ сопротивленіе котораго есть r? Слѣдующій опытъ доказываетъ

что увеличеніе размѣровъ, элемента не увеличиваетъ его электродвижущей силы. Соединимъ въ одну цѣпь (фиг. 586) элементъ большихъ размѣровъ и элементъ, изъ тѣхъ же ма-



Фиг. 586.

теріаловъ, но малыхъ размѣровъ (вмѣсто одного элемента большихъ размѣровъ можно взять соединеніе нѣсколькихъ малыхъ, которыхъ цинки, какъ сказано, соединены въ одну поверхность, угли также) и притомъ такъ чтобы элементы эти дѣйствовали одинъ противъ другаго: для этого они должны быть соединены одноименными полюсами. Стрѣлка гальванометра не отклонится, доказывая что малый уничтожаетъ дѣйствіе большаго. По закону Ома напряженіе тока въ цѣпи, изъ двухъ элементовъ (которыхъ электродвижущія силы суть E и E', сопротивленія R и R') дѣйствующихъ одинъ противъ другаго будетъ (означивъ буквою r сопротивленіе соединительной проволоки вмѣстѣ съ гальванометромъ)

$$i = \frac{E-E'}{R+R'+r}$$

Такъ какъ опытъ показываетъ что въ нашемъ случаѣ $i=0$, то заключаемъ что

$$E - E' = 0 \quad \text{или} \quad E = E',$$

что и требовалось доказать.

Но еслибы мы *отдѣльно* замкнули большой элементъ, затѣмъ малый, помощію проводника сопротивленіе котораго есть r, то напряженіе i' въ случаѣ большаго элемента выражающееся формулою $i' = \frac{E}{R+r}$, было бы значительно болѣе чѣмъ напряженіе тока i'' соотвѣтствующее случаю малаго элемента и выражающееся формулою $i'' = \frac{E'}{R'+r}$. Но такъ какъ $E=E'$, то чтобы i''

было менѣе i', сопротивленіе R' должно быть болѣе R: сопротивленіе малаго элемента болѣе чѣмъ сопротивленіе элемента большихъ размѣровъ. Этого и должно было ожидать, такъ какъ сопротивленіе проводника вообще тѣмъ менѣе чѣмъ значительнѣе площадь его сѣченія. Если поверхность одного элемента въ n разъ болѣе поверхности другаго, то сопротивленіе перваго въ n разъ менѣе сопротивленія втораго. Потому въ случаѣ n элементовъ соединенныхъ всѣ цинки вмѣстѣ и всѣ угли вмѣстѣ, общее сопротивленіе будетъ $\frac{R}{n}$, если сопротивленіе каждаго отдѣльнаго элемента есть R.

Имѣя эти данныя, легко разрѣшить поставленный выше вопросъ. Электродвижущая сила n элементовъ соединенныхъ поверхностью остается тою же какъ еслибы былъ одинъ элементъ, но сопротивленіе уменьшается въ n разъ, сравнительно съ однимъ элементомъ и будетъ $= \frac{R}{n}$. Слѣдов. напряженіе тока будетъ

$$i = \frac{E}{\frac{R}{n} + r} = \frac{nE}{R+nr},$$

гдѣ r сопротивленіе соединительнаго проводника.

Видимъ что если r очень мало, такъ что nr можетъ быть пренебрежено сравнительно съ R, то сила тока будетъ

$$i = \frac{nE}{R},$$

то-есть въ n разъ болѣе чѣмъ въ случаѣ одного элемента. Такимъ образомъ при соединительномъ проводникѣ малаго сопротивленія выгодно увеличивать *поверхность* элементовъ.

Если, напротивъ того, r велико, такъ что R можно пренебречь сравнительно съ nr, то сила тока будетъ

$$i = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r},$$

то-есть не увеличится сравнительно съ однимъ элементомъ. Въ случаѣ большаго сопротивленія увеличеніе поверхности не имѣетъ, слѣдовательно, такого значенія какъ увеличеніе числа элементовъ.

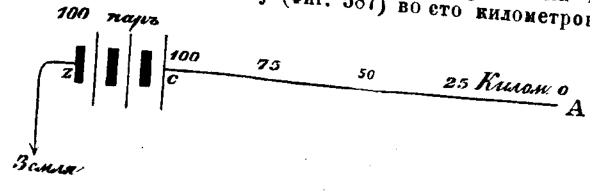
§ 409. Приложеніе закона Ома къ случаю M элементовъ раздѣленныхъ на m группъ, изъ коихъ въ каждой по n элементовъ соединенныхъ поверхностью. Имѣемъ, напримѣръ, 50 элементовъ которые разбиваемъ на 10 группъ по пяти элемен-

товъ. Въ каждой группѣ связываемъ всѣ цинки вмѣстѣ, всѣ угли
вмѣстѣ. Далѣе, разсматриваемъ каждую группу какъ одинъ эле-
ментъ и соединяемъ ихъ разноименными полюсами: цинкъ первой
группы съ углемъ второй, цинкъ второй съ углемъ третьей и
т. д. Получаемъ батарею въ 10 большихъ элементовъ. Какова
сила тока въ подобныхъ случаяхъ. если сопротивленіе соеди-
нительнаго проводника есть r? Электродвижущая сила каждой
группы есть E, та же какъ одного элемента; сопротивленіе
$\frac{R}{n}$. Электродвижущая сила батареи изъ m такихъ группъ есть
mE; сопротивленіе $m\frac{R}{n}$. Слѣдовательно сила тока будетъ

$$i = \frac{mE}{m\frac{R}{n} + r} = \frac{mn \cdot E}{mR + nr} = \frac{ME}{mR + nr} \quad \text{ибо } M = m \cdot n$$

Разборъ этой формулы показываетъ что i, въ случаѣ даннаго
M, будетъ имѣть *наибольшую* величину когда $mR = nr$ или
$r = m\frac{R}{n}$, т.-е. когда *сопротивленіе соединительнаго провод-
ника равно внутреннему сопротивленію батареи.*

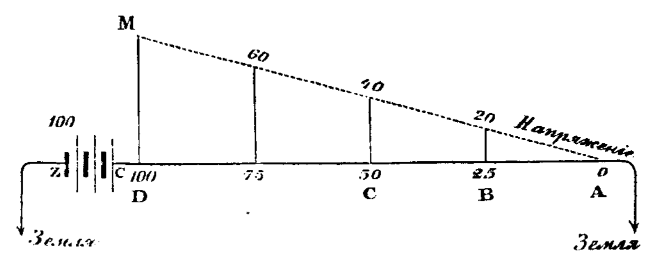
**§ 410. Напряженіе свободнаго электричества въ замкнутой
цѣпи.** Въ §§ 355 и 356 было говорено о томъ какъ распредѣ-
ляется свободное электричество въ незамкнутомъ столбѣ. Въ
числѣ прочаго было упомянуто что если имѣемъ батарею изъ
100, напримѣръ, элементовъ, которой одинъ полюсъ,—положимъ
отрицательный,—соединенъ съ землею, то вся батарея зарядится
электричествомъ полюса несоединеннаго съ землею (положитель-
нымъ въ разсматриваемомъ случаѣ), причемъ напряженіе электри-
чества возрастаетъ отъ конца соединеннаго съ землею, гдѣ оно
равно нулю, до противоположнаго полюса гдѣ оно есть 100
(если единицею назовемъ напряженіе при изолированномъ полю-
сѣ одного элемента котораго другой полюсъ соединенъ съ зем-
лею). Если присоединимъ къ полюсу C изолированный провод-
никъ, напримѣръ проволоку (фиг. 587) во сто километровъ дли-



Фиг. 582.

ною, то проводникъ этотъ на всемъ протяженіи пріобрѣтетъ оди-
накое напряженіе, равное напряженію полюса C. Но соединимъ

конецъ A проволоки также съ землею. Чрезъ это цѣпь сдѣ-
лается замкнутою, и произойдетъ гальваническій токъ, ибо
электричества отъ полюсовъ Z и C будутъ постоянно ухо-
дить въ землю. Исчезаетъ ли совсѣмъ электрическое напря-
женіе въ этомъ случаѣ, и, если останется, то какъ будетъ рас-
предѣлено? Опыты обнаруживаютъ существованіе такого напря-
женія (опыты эти принадлежатъ къ весьма деликатнымъ такъ
какъ электричество остающееся свободнымъ на поверхности
проводниковъ составляющихъ цѣпь облекаетъ ихъ крайне
тонкимъ слоемъ). Они показываютъ что напряженіе не
остается постояннымъ на протяженіи проволоки CA, но посте-
пенно уменьшается отъ полюса C гдѣ оно равняется 100, до
мѣста соединенія A съ землею, гдѣ оно равняется нулю. На
фиг. 588 величины напряженія въ разныхъ точкахъ проволоки
означены вертикальными линіями, вершины которыхъ лежатъ

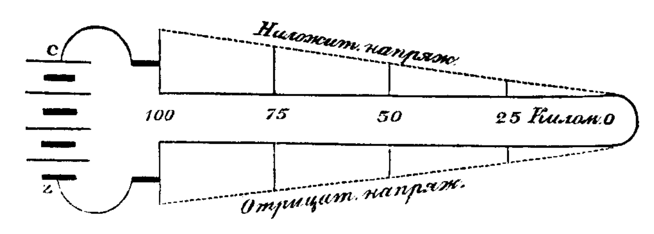


Фиг. 588.

на общей прямой MA. Другими словами въ проволокѣ AM на-
пряженіе возрастаетъ прямо пропорціонально разстоянію отъ
конца A гдѣ одно равно нулю.

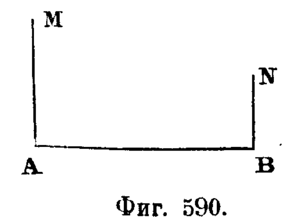
Въ разсмотрѣнномъ случаѣ вся цѣпь представляетъ электри-
ческое напряженіе одного знака, именно положительное. Ука-
жемъ случай когда въ цѣпи наблюдается какъ положительное
такъ и отрицательное напряженіе. Таковъ случай когда ни тотъ
ни другой полюсъ не соединены съ землею, а сообщаются ме-
жду собою помощію проводника, который представимъ себѣ
состоящимъ изъ двухъ однообразныхъ проволокъ равной длины
какъ на фиг.589 (слѣд. стр.). Всю цѣпь представляемъ себѣ изоли-
рованною, а батарею состоящею изъ 200 элементовъ. Тогда на-
пряженіе на полюсѣ C будетъ $+ 100$, на полюсѣ $Z - 100$. Въ
проволокахъ, въ верхней,—положительное напряженіе уменьша-
ющееся отъ 100 до нуля при точкѣ A; въ нижней,—отрицатель-
ное, уменьшающееся подобнымъ же образомъ. При точкѣ A
и при точкѣ B (въ срединѣ батареи) напряженія равны нулю.

Эти точки можно сообщить съ землею, не измѣняя распредѣленія электричествъ въ цѣпи.



Фиг. 589.

§ 411. Указанная Омомъ аналогія между распространеніемъ тепла въ проводникахъ и электричества въ гальванической цѣпи. Фурье, изслѣдуя вопросъ о распространеніи теплоты въ тѣлахъ, вывелъ слѣдующее, оправданное опытомъ, заключеніе. Представимъ себѣ стѣну неопредѣленной длины, которой одна сторона A поддерживается постоянно при температурѣ a, другая B при меньшей температурѣ b. По истеченіи болѣе или менѣе значительнаго времени съ начала опыта, установится постоянный потокъ теплоты, такъ что каждый слой пріобрѣтетъ нѣкоторую неизмѣнную температуру (тѣмъ болѣе высокую чѣмъ слой ближе къ сторонѣ A) и будетъ въ данное время столько же принимать тепла сколько отдавать его. Количество теплоты проходящей въ единицу времени чрезъ единицу площади всякаго параллельнаго сторонамъ A и B сѣченія выразится формулою $K\frac{a-b}{e}$, гдѣ e толщина стѣны, k постояннный коэффиціентъ зависящій отъ натуры вещества (*коеффиціентъ теплопроводности*). Въ случаѣ если разсматриваемое сѣченіе есть не единица, а ω, формула будетъ $K\frac{a-b}{e}\omega$. Омъ допустилъ что подобный законъ (законъ распространенія теплоты по одному направленію или *линейнаго* распространенія теплоты) прилагается и къ движенію электричества въ каждой части гальванической цѣпи, напримѣръ (фиг. 590) въ проволокѣ AB. При



Фиг. 590.

этомъ толщинѣ стѣны соотвѣтствуетъ длина l проволоки, температурамъ a и b электрическія напряженія на концахъ ея (эти напряженія назовемъ f' и f''; на чертежѣ они изображены вертикальными линіями AM и BN). Такимъ образомъ количество i электричества проходящаго чрезъ сѣченіе ω проволоки будетъ

$$i = k\omega\frac{f'-f''}{l}$$

или, такъ какъ согласно § 404, $\frac{l}{k\omega} = \lambda$, *сопротивленію* разсматриваемой проволоки,

$$i = \frac{f'-f''}{\lambda}.$$

Представимъ себѣ всю цѣпь какъ кольцо изъ однородной проволоки въ нѣкоторомъ сѣченіи котораго дѣйствуетъ электродвижущая сила, производящая то что съ двухъ сторонъ этого сѣченія оказывается нѣкоторая, постоянно сохраняющаяся разность электрическихъ напряженій E. Тогда въ формулѣ выражающей количество проходящаго электричества вмѣсто $f'-f''$ надо поставить E, вмѣсто r величину R—общее сопротивленіе всей цѣпи. Получимъ

$$i = \frac{E}{R}$$

А такъ какъ дѣйствіе на стрѣлку, какимъ измѣряется сила тока, пропорціонально количеству проходящаго электричества, то эту формулу можно разсматривать какъ выражающую силу или напряженіе тока.

Такимъ путемъ Омъ теоретически вывелъ свой *законъ*, открытый имъ первоначально путемъ опыта.

§ 412. Зависимость дѣйствій тока отъ его силы. Открытый Джолемъ законъ нагрѣванія проводника проходящимъ чрезъ него гальваническимъ токомъ. Движеніе электричества въ проводникѣ, побѣждая сопротивленіе противоставляемое этимъ проводникомъ, нагрѣваетъ его. Уже по аналогіи съ нагрѣваніемъ проволоки разрядомъ Лейденской банки, можно допустить что нагрѣваніе проводника зависитъ не только отъ *количества* проходящаго электричества, но и отъ его *напряженія*, отъ котораго зависитъ электродвижущая сила гонящая электрическія массы. Допустимъ что количество q развиваемаго въ данное время тепла пропорціонально количеству проходящаго электричества (то есть силѣ тока i) и разности напряженій $f'-f''$ при концахъ разсматриваемаго проводника. Слѣдов. $Q = A.(f'-f'').i$, гдѣ A нѣкоторый постоянный коэффиціентъ. Но такъ какъ по закону Ома $i = \frac{f'-f''}{r}$, гдѣ r сопротивленіе проводника, то $q = A.i^2.r$, то-есть *количество*

тепла развивающагося въ данное время въ проводникѣ чрезъ который идетъ токъ пропорціонально квадрату силы тока и сопротивленію проводника. Чѣмъ значительнѣе сила тока и чѣмъ болѣе сопротивленіе проводника, тѣмъ значительнѣе его нагрѣваніе. Законъ этотъ открытъ Джолемъ (1841) и оправданъ точными опытами.

Разсматривая цѣпь какъ однородный проводникъ сопротивленія R, въ опредѣленномъ мѣстѣ котораго дѣйствуетъ электродвижущая сила E, и допустивъ что коеффиціентъ A имѣетъ всегда ту же постоянную величину, приходимъ къ согласному съ опытомъ заключенію что количество Q тепла развивающагося во всей цѣпи пропорціонально количеству проходящаго электричества и электродвижущей силѣ E и есть $Q = A.E.i$. Но $i = \frac{E}{R}$, слѣд. $Q = A.i^2.R$.

§ 413. Въ чемъ источникъ энергіи тока. Токомъ вообще называется всякое передвиженіе электрическихъ массъ. Такимъ образомъ разрядъ лейденской банки, возбуждаемое чрезъ индукцію движеніе электричества въ проводникѣ, наконецъ термо-электрическій и обыкновенный гальваническій токъ суть различные случаи общаго явленія электрическаго тока. Токъ можетъ производить различныя дѣйствія: нагрѣваніе, намагниченіе, передвиженіе тѣлъ, химическое разложеніе. Спрашивается: гдѣ источникъ силы производящій эти дѣйствія или точнѣе гдѣ источникъ энергіи обнаруживающійся въ этихъ дѣствіяхъ? Въ случаѣ лейденской банки потенціальная энергія ея заряда (такъ можемъ мы разсматривать состояніе банки когда она заряжена) разрѣшающаяся дѣйствіями какія обнаруживаются при разрядѣ, имѣетъ свой источникъ въ механической работѣ самого наблюдателя или инаго двигателя вращающаго кругъ электрической машины помощію которой, предполагаемъ, заряжается банка. Усиліе наблюдателя вращающаго машину употребляется во-первыхъ на то чтобы побѣждать тѣ тренія какія обнаруживаются независимо отъ развитія электричества, во вторыхъ чтобы побѣдить то невидимое препятствіе какое обнаруживается вслѣдствіе развитія электричества. (Существованіе этого препятствія въ случаѣ машины Гольтца обнаруживается тѣмъ что наблюдателю становится труднѣе вращать машину когда она въ дѣйствіи, чѣмъ когда она не доставляетъ электричества; въ случаѣ обыкновенной машины оно не обнаружено прямымъ опытомъ). Избытокъ работы потраченный на то чтобы побѣдить это препятствіе и есть источникъ потенціальной энергіи заряда. Эта энергія опредѣляется, во-первыхъ *количествомъ* электричества сообщеннаго банкѣ или батареѣ и во-вторыхъ *напряженіемъ* или *плотностію* этого электричества. Требуется не одинаковая работа для того чтобы ввести количество e электричества въ батарею изъ 10 банокъ или чтобы ввести то же количество e въ одну банку, (въ послѣднемъ случаѣ скопленное въ одной банкѣ электричество будетъ имѣть

въ 10 разъ большую плотность чѣмъ когда оно разлито по поверхности въ 10 разъ большей). И это понятно, такъ какъ по
мѣрѣ скопленія электричества въ банкѣ труднѣе и труднѣе
становится вводить новыя количества однороднаго электриче-
ства отталкиваемыя находящимся уже тамъ. Въ свою очередь
дѣйствія въ которыя преобразуется потенціальная энергія
банки также зависятъ какъ отъ количества e электричества,
такъ и отъ плотности $\frac{e}{s}$ (гдѣ s поверхность банки, смотри
§ 339). Такъ, нагрѣваніе проволоки чрезъ которую проходитъ
разрядъ лейденской батареи пропорціонально какъ количе-
ству электричества заряжающаго батарею такъ и его плот-
ности (законъ Риса).

Въ случаѣ индуктивнаго возбужденія электричества отно-
сительнымъ передвиженіемъ магнитовъ и проводниковъ источ-
никъ энергіи также въ той механической работѣ помощію
какой передвиженіе производится,

Въ случаѣ термо-электрической цѣпи источникъ энергіи есть
теплота сообщаемая нагрѣваемому спаю, преобразующаяся
въ электрическій токъ, въ свою очередь разрѣшающійся явле-
ніемъ нагрѣванія какія всей цѣпи вообще такъ и холоднаго
спая въ особенности. Если термо-электрическій токъ, кромѣ
нагрѣванія, производитъ какія-либо иныя дѣйствія, то количе-
ство теплоты порождаемое токомъ менѣе того какое сообщает-
ся теплому спаю: часть утрачивается на эти дѣйствія,

Въ случаѣ гидро-электрическаго тока источникъ его энергіи
въ тѣхъ химическихъ явленіяхъ какъ происходятъ въ цѣпи
и сопровождаются отдѣленіемъ и поглощеніемъ теплоты.
Окисляющійся и слѣдовательно сгорающій цинкъ гла-
вный матеріалъ потребляемый при образованіи тока. Какъ
скоро гальваническая батарея замкнута, обнаруживают-
ся химическія дѣйствія и въ тоже время замѣчается на-
грѣваніе и притомъ во всей цѣпи: какъ внутри элемента, или
батареи, такъ и въ соединительномъ проводникѣ. Нагрѣваніе
внутри элемента, очевидно имѣетъ источникъ въ происходя-
щихъ тамъ химическихъ соединеніяхъ, вообще, какъ извѣстно,
сопровождающихся развіемъ тепла. Теплота обнаружива-
ющаяся въ соединительномъ проводникѣ и распредѣляю-
щаяся въ немъ по законамъ отличнымъ отъ законовъ
обыкновеннаго распространенія тепла чрезъ тплопроводи-
мость, есть результатъ тока. Спрашивается: есть ли какое со-
отношеніе, и какое именно, между тепломъ развивающимся въ
элементѣ или батареѣ, и тѣмъ, какое обнаруживается въ
остальной части цѣпи? Количество тепла, доставляемаго хи-
мическими процессами внутри элемента (который предпола-
гаемъ, напримѣръ, состоящимъ изъ цинка и платины по-
груженныхъ въ воду съ сѣрною кислотой) можетъ быть опре-
дѣлено теоретически. Соединеніе цинка съ кислородомъ есть

процессъ неявнаго горѣнія, сопровождающійся значительнымъ и вполнѣ опредѣленнымъ отдѣленіемъ тепла; раствореніе окиси цинка въ сѣрной кислотѣ также отдѣляетъ опредѣленное количество тепла; наконецъ, разложеніе воды *потребляетъ* количество тепла равное тому, какое развивается при ея образованіи изъ кислорода и водорода. Всѣ эти три количества извѣстны изъ опыта. Потому не трудно разчитать, что когда окисляется 33 грамма цинка и вслѣдствіе того разлагается 9 граммовъ воды съ выдѣленіемъ *одного грамма* водорода, общее количество доставляемаго тепла будетъ равно 18.444 единицъ тепла *). Таково количество тепла, которое мы получили бы, еслибы сказанные химическіе процессы совершились помимо тока, чисто химическимъ путемъ. Спрашивается, то же ли количество тепла выдѣляется этими процессами, когда они происходятъ въ зависимости отъ гальваническаго тока, и есть ли связь между этою теплотою и тою, которая развивается дѣйствіемъ тока въ соединительной проволокѣ? Укажемъ опыты французскаго ученаго Фавра, относящіеся къ этому предмету.

Фавръ началъ съ того, что уменьшилъ количество тепла, развивающееся *внѣ* элемента, до возможной степени. Это количество можно сдѣлать ничтожнымъ, если соединить полюсы элемента толстою короткою проволокой. Помѣстивъ замкнутый такимъ образомъ элементъ въ особаго устройства *калориметръ* (въ формѣ ртутнаго термометра съ огромнымъ резервуаромъ внутрь котораго вводятся отдающія теплоту тѣла), можно было опредѣлить, сколько тепла отдѣляется подъ вліяніемъ тока въ продолженіе времени когда окислится 33 грамма цинка и выдѣлится, слѣдовательно, 1 граммъ водорода. Оказалось, что развилось то самое количество, которое отдѣлилось бы, еслибы химическіе процессы произошли *помимо* тока, то-есть около 18.444 единицъ тепла. Все это количество въ описываемомъ опытѣ развивается внутри элемента, такъ какъ толстая и короткая соединительная проволока не нагрѣвается замѣтно. Второй опытъ былъ произведенъ въ иныхъ условіяхъ. Полюсы были соединены тонкою, болѣе или менѣе длинною проволокой. Въ этомъ случаѣ тепло развивается не только *внутри* элемента, но весьма замѣтно и въ соединительной проволокѣ. Химическія дѣйствія идутъ медленнѣе чѣмъ въ первомъ случаѣ: потребно болѣе значительное время для выдѣленія грамма водорода (токъ слабѣе). Вмѣстѣ съ тѣмъ количество тепла, развивающееся внут-

*) Именно 42.451 доставляемыя окисленіемъ цинка, 10.455 раствореніемъ окиси цинка въ сѣрной кислотѣ и 34.462 потребляется разложеніямъ воды. За единицу тепла принимается то ея количество, которое потребно для нагрѣванія грамма воды на одинъ градусъ.

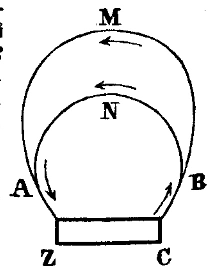
ри элемента, соотвѣтственно тому же химическому дѣйствію, уменьшается. Тотъ же химическій процессъ доставляетъ повидимому, менѣе тепла. Но тепло это не утрачено: оно только перенесено въ соединительную проволоку. Совокупность тепла, развившагося внутри элемента и въ соединительной проволокѣ, опять приблизительно равна 18.444 единицамъ (въ опытѣ Фавра 16.648 въ элементѣ и 2.219 въ проводникѣ). Такимъ образомъ теплота, развивающаяся въ проводникѣ, заимствована отъ теплоты химическихъ дѣйствій элемента. Чѣмъ длиннѣе и тоньше соединительная проволока, чѣмъ труднѣе она проводитъ электричество, чѣмъ, однимъ словомъ, значительнѣе ея *сопротивленіе*, тѣмъ бо́льшее количество тепла отвлекается изъ элемента, тѣмъ медленнѣе вмѣстѣ съ тѣмъ совершаются химическія процессы и тѣмъ слабѣе токъ, такъ что если хотимъ развить въ соединительномъ проводникѣ значительнаго сопротивленія большое количество тепла, то должны взять батарею изъ многихъ элементовъ. Если соединительная проволока состоитъ изъ частей различнаго сопротивленія, то отвлеченное изъ элемента или батареи тепло распредѣляется сообразно этимъ сопротивленіямъ и скопляется болѣе тамъ, гдѣ сопротивленіе значительнѣе. Мы можемъ такимъ образомъ, помощію гальваническаго тока, тепло отъ источника заставить перейти чрезъ холодное тѣло (толстую проволоку), не нагрѣвая его, и обнаружить этотъ скрытый огонь тамъ, гдѣ токъ встрѣтитъ проводникъ съ значительнымъ сопротивленіемъ— тонкую проволоку которую раскалитъ, или слой воздуха который наполнитъ сіявіемъ. Электрическій процессъ обнаруживается тѣмъ, что тепло, порождаемое химическими дѣйствіями элемента или батареи, распространяется и располагается въ цѣпи не по обыкновеннымъ законамъ тепропроводимости. Электричество является посредникомъ, позволяющимъ, съ одной стороны, обнаружиться химическимъ дѣйствіямъ батареи, съ другой, разносящимъ и распредѣляющимъ извѣстнымъ образомъ въ цѣпи тепло, развившееся вслѣдствіе этихъ дѣйствій. Химическія дѣйствія порождаютъ тепло; ими же обусловливается процессъ, который мы зовемъ электрическимъ токомъ. Можно было бы думать что количество развивающагося тепла должно бы уменьшить ся, ибо кромѣ тепла развивается электричество. Между тѣмъ мы собираемъ въ цѣпи безъ потери все тепло, какое способны породить эти дѣйствія *). На счетъ чего же развивается электричество и обра-

*) Мы предполагаемъ, что дѣйствія тока ограничиваются развитіемъ тепла. Фавръ дѣлалъ третій рядъ опытовъ, вводя въ цѣпь небольшую электро-двигательную машину. Общее количество тепла, развившагося соотвѣтственно грамму выдѣленнаго водорода было въ этомъ случаѣ менѣе тѣмъ количествомъ которое потрачено было на произведеніе работы.

зуется токъ? Электрическій процессъ очевидно имѣетъ переходный характеръ. Химическія дѣйствія не прямо порождаютъ тепло: энергія обнаруживается въ формѣ электрическаго процесса и потомъ уже разрѣшается въ тепло. Электричество является моментомъ перехода, возникаетъ чтобъ исчезнуть, преобразовавъ дѣйствіе изъ одной формы въ другую. Дѣйствіе проводника, по которому проходитъ токъ, на магнитную стрѣлку, есть внѣшнее свидѣтельство того особаго состоянія, въ какомъ находится проводникъ, служащій для электрическаго переноса энергіи.

Вообще характеристическая черта электрическаго процесса есть его мимолетность. Это ступень ведущая отъ одного явленія къ другому; переходный моментъ, появляющійся чтобъ исчезнуть, давъ возможность одному явленію преобразоваться въ другое. Универсальность электрическаго процесса въ томъ что онъ служитъ связью самыхъ разнообразныхъ явленій. Электричество переноситъ дѣйствіе отъ источника на какое угодно разстояніе и переноситъ съ поразительною быстротой. Оно, употребляемъ слова Фарадея, „можетъ чрезъ металлы и извѣстные роды угля передать на разстояніе силу, которую зовутъ обыкновенно химическимъ сродствомъ“. Образуя гальваническую цѣпь проводниковъ, мы можемъ путемъ электрическаго тока теплоту гидро-электрическаго элемента или нагрѣтаго спая разнородныхъ металловъ почти мгновенно перенести на значительное разстояніе и обнаружить ее тамъ раскаленіемъ проволоки, нагрѣваніемъ другаго спая или инымъ образомъ.

§ 414. Отводные токи. Представимъ себѣ (фиг. 591) что проводникъ соединяющій полюсы батареи раздѣляется на двѣ вѣтви, такъ что токъ идущій отъ положительнаго полюса батареи при B раздѣляется на два канала, вновь соединяющіеся при точкѣ A. Токи идущіе по вѣтвямъ главнаго канала именуются *отводными*. Спрашивается, при данной электродвижущей силѣ E батареи и извѣстныхъ сопротивленіяхъ батареи и вѣтвей соединительнаго проводника, какъ велико напряженіе тока, во-первыхъ въ части $AZCB$ и во-вторыхъ въ вѣтвяхъ ANB и AMB? Вопросъ разрѣшается весьма легко съ помощію законовъ



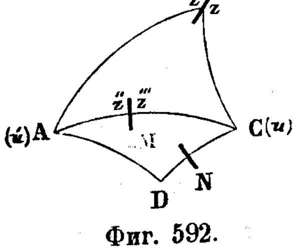
Фиг. 591.

указанныхъ Гейдельбергскимъ профессоромъ Кирхгофомъ, и служащихъ пополненіемъ закона Ома. Первый законъ Кирхгофа выражается такъ: алгебраическая сумма напряженій токовъ въ вѣтвяхъ пересѣкающихся въ одной точкѣ равна нулю (причемъ напряженія тока въ вѣтвяхъ приносящихъ электричество къ точкѣ пересѣченія считаются положительными, въ вѣтвяхъ уводящихъ отрицательными). Законъ этотъ имѣетъ свое объяснеіе въ томъ

что напряженіе тока пропорціонально количеству движущагося электричества. Очевидно, что количество электричества притекающаго къ точкѣ пересѣченія должно быть равно количеству утекающаго отъ нея, ибо иначе въ ней было бы непрерывное увеличеніе электрическаго напряженія. Другой законъ состоитъ въ томъ что въ произвольно развѣтвленной сѣти проводниковъ, во *всякой замкнутой ея части, сумма дѣйствующихъ въ ней электродвижущихъ силъ равна суммѣ произведеній силы тока въ каждой изъ составляющихъ ея вѣтвей на сопротивленіе этой вѣтви* *. Такимъ образомъ въ разсматриваемомъ случаѣ имѣемъ: по первому закону Кирхгофа (назвавъ силу тока въ части $AZCB$ буквою i, въ части BNA буквою i', въ части BMA буквою i'') $i = i' = i''$; по второму закону (относя его къ кругу $AMBNA$ и назвавъ сопротивленіе вѣтви ANB буквою λ', вѣтви AMB буквою λ'') $i'\lambda' - i''\lambda'' = 0$, такъ какъ въ кругѣ нѣтъ электродвижущихъ силъ; по второму же закону (прилагая его къ кругу $ANBCZA$) $i\lambda + i'\lambda' = E$, гдѣ E электродвижущая сила элемента, λ сопротивленіе вѣтви $AZCB$, включающей въ себѣ элементъ. Разрѣшая эти три уравненія, получимъ

---

*) Законъ этотъ есть обобщеніе соображеній Ома указанныхъ въ § 411. Имѣемъ, напримѣръ, сѣть проводниковъ изображенную на фиг. 592. При сѣченіяхъ BM и N дѣйствуютъ электродвижущія силы, вслѣдствіе чего электрическое напряженіе по одной сторонѣ сѣченія B есть z, по другой z', причемъ $z - z'$ равно электродвижущей силѣ E; при сѣченіи M напряженіе по одной сторонѣ z'', по другой z''' и $z'' - z''' = E'$. Обратимъ вниманіе на замкнутый кругъ $ABCMA$. Назвавъ силу тока и сопротивленіе въ вѣтви BC буквами i и λ; въ вѣтви CM буквами i' и λ'; въ вѣтви MA буквами i'' и λ''; въ вѣтви AB буквами i''' и λ'''; наименовавъ, наконецъ, электрическія напряженія въ точкахъ C и A буквами u и u', будемъ, по закону Ома, имѣть:



Фиг. 592.

$$z - u = i\lambda$$
$$u - z''' = i'\lambda'$$
$$z'' - u' = i''\lambda''$$
$$u' - z' = i'''\lambda'''.$$

Сложивъ эти уравненія, получимъ (такъ какъ $z - z' = E$ $z'' - z''' = E'$):

$$E + E' = i\lambda + i'\lambda' + i''\lambda'' + i'''\lambda'''$$

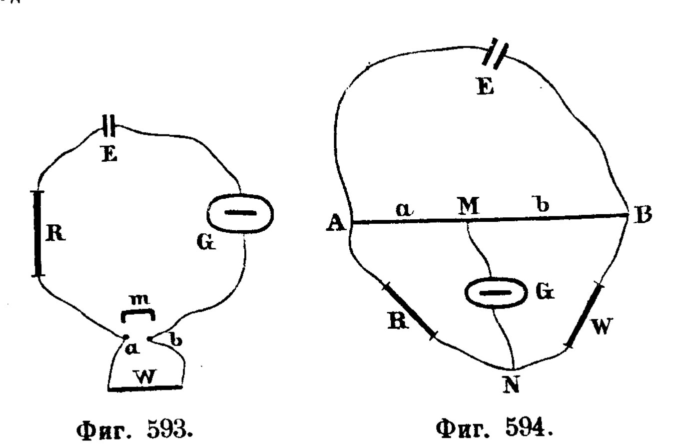
что и требовалось доказать.

$$i = \frac{E(\lambda' + \lambda'')}{\lambda\lambda' + \lambda\lambda'' + \lambda'\lambda''}$$

$$i' = \frac{E\lambda''}{\lambda\lambda' + \lambda\lambda'' + \lambda'\lambda''}$$

$$i'' = \frac{E\lambda'}{\lambda\lambda' + \lambda\lambda'' + \lambda'\lambda''}$$

§ 415. Точные способы для опредѣленія сопротивленія и электро-движущей силы. 1) *Опредѣленіе сопротивленія даннаго проводника.* Требуется опредѣлить сопротивленіе проводника W. Составимъ цѣпь, какъ показано на фиг. 593, изъ элемента E, гальванометра G, реостата R и проводника W. Стрѣлка гальванометра покажетъ опредѣленное отклоненіе. Соединивъ концы a и b короткою толстою проволокою m, выведемъ проводникъ W изъ цѣпи. Отклоненіе увеличится, но увеличивъ сопротивленіе реостата, можемъ возвратить стрѣлку въ прежнее положеніе. Сопротивленіе прибавленнаго числа оборотовъ реостата, очевидно, равняется искомому сопротивленію проводника.



Фиг. 593. Фиг. 594.

Другой способъ именуется способомъ *Уитстонова моста*. Развѣтвивъ проволоки какъ показано на фиг. 594, вводятъ въ вѣтвь AN реостатъ R; въ вѣтвь NB проводникъ W котораго сопротивленіе w требуется опредѣлить, и перекидываютъ отъ вѣтви AB къ вѣтви ANB поперечную проволоку съ гальванометромъ G. Измѣняютъ сопротивленіе r реостата до тѣхъ поръ пока гальванометръ возвратится къ нулю, и слѣд. въ вѣтви MN не будетъ тока. Тогда, назвавъ сопротивленія вѣтвей AM и MB

буквами a и b, искомую величину w найдемъ изъ пропорціи *) $r : w = a : b$. Въ случаѣ если $a = b$, будемъ имѣть $w = r$; то-есть *сопротивленіе проводника равняется сопротивленію реостата.*

2) *Опредѣленіе внутренняго сопротивленія самой батареи.* Замкнемъ батарею помощію гальванометра и реостата; стрѣлка гальванометра отклонится на опредѣленное число градусовъ. Соотвѣтствующую силу тока назовемъ I. Увеличимъ сопротивленіе реостата такъ чтобы сила тока значительно уменьшилась (напримѣръ до половины прежней величины). Пусть новая сила тока **) будетъ i; прибавленное сопротивленіе реостата w.

Назвавъ буквами: E—электродвижущую силу элемента; r сопротивленіе гальванометра и введенной въ первомъ опытѣ части реостата; R искомое сопротивленіе элемента, будемъ имѣть по закону Ома:

$$I = \frac{E}{R+r}, \quad i = \frac{E}{R+r+w}, \quad \text{откуда}$$

$$R + r = w \cdot \frac{i}{I - i}.$$

Опредѣливъ отдѣльно величину r и вычтя ее изъ найденной величины $R+r$, найдемъ искомую величину R.

3) *Сравнительное опредѣленіе электродвижущей силы двухъ элементовъ.* Замыкаютъ первый элементъ помощію гальванометра и нѣкотораго очень большаго сопротивленія r предъ которымъ величина R внутренняго сопротивленія элемента может быть пренебрежена. Въ такомъ случаѣ силу тока i можно выразить формулою $i = \frac{E'}{r}$, гдѣ E' электродвижущая сила элемента. Замкнемъ другой элементъ помощію того же гальванометра и другаго большаго сопротивленія r' такой величины чтобы отклоненіе стрѣлки, а слѣдов. и сила тока были таковы же какъ въ первомъ опытѣ. Будемъ имѣть $i = \frac{E''}{r'}$, гдѣ E'' электродвижущая сила втораго элемента. Слѣдовательно искомое отношеніе будетъ:

---

*) По законамъ Кирхгофа, такъ какъ сила тока въ перекинутой вѣтви MN равна нулю, имѣемъ (назвавъ силу тока въ вѣтвяхъ AM, MB, AN, NB буквами i, i', i'', i''') $i = i'$, $i'' = i'''$; $ia = i''R$; $i'b = i'''w$; откуда $a : b = R : w$.

**) Въ случаѣ если стрѣлка имѣетъ очень малое отклоненіе величину угла отклоненія можно считать пропорціональной силѣ тока, и слѣдовательно уменьшеніе отклоненія вдвое будетъ признакомъ уменьшенія силы вдвое. О болѣе точномъ измѣреніи силы тока скажемъ въ слѣдующемъ отдѣлѣ.

$$\frac{E'}{E''} = \frac{r}{r'}$$

Другой способъ. Замыкаютъ первый элементъ помощію гальванометра и реостата, такъ что стрѣлка отклонится на нѣкоторое опредѣленное число градусовъ (напримѣръ на 40°). Силу тока соотвѣтствующую этому отклоненію назовемъ i'. Увеличиваемъ сопротивленіе реостата на величину a, такъ что отклоненіе уменьшится на опредѣленное число градусовъ (отъ 40°, напримѣръ, до 20°). Силу тока соотвѣтствующую второму отклоненію назовемъ i''. Замкнемъ второй элементъ помощію того же гальванометра и реостата, и дадимъ сопротивленію послѣдняго такую величину чтобы отклоненіе, а слѣд. и сила тока i' были тѣ же какъ въ первомъ опытѣ. Увеличимъ сопротивленіе реостата до тѣхъ поръ пока отклоненіе уменьшится на то же число градусовъ какъ въ опытѣ съ первымъ элементомъ (отъ 40° до 20° въ нашемъ предположеніи), и слѣдов. сила тока будетъ i''. Величина, на какую надо увеличить сопротивленіе реостата будетъ иная чѣмъ въ опытѣ съ первымъ элементомъ, гдѣ она равнялась a. Назовемъ ее буквою b. Не трудно доказать что искомое отношеніе электродвижущихъ силъ будетъ

$$\frac{E'}{E''} = \frac{a}{b}\ .$$

Дѣйствительно, наши четыре опыта, истолкованные по закону Ома, даютъ слѣдующія четыре уравненія

$$i' = \frac{E'}{R + r'},\ i'' = \frac{E'}{R+r'+a};\ i' = \frac{E''}{R'+r''};\ i'' = \frac{E''}{R'+r''+b}$$

гдѣ R и R' внутреннія сопротивленія перваго и втораго элемента; r' и r'' совокупныя сопротивленія гальванометра и введенной части реостата въ первомъ и третьемъ опытахъ. Изъ этихъ уравненій не трудно вывести предыдущее отношеніе.

§ 416. Скорость электричества. Подъ именемъ *скорости* электричества можно разумѣть: 1) скорость какая должна быть приписана электрическимъ частицамъ, передвиженіе которыхъ, согласно теоріи, образуетъ электрическій токъ. Абсолютная величина этой скорости неизвѣстна; 2) скорость съ какою, послѣ того момента какъ цѣпь стала замкнутою, то или другое дѣйствіе тока обнаруживается въ данномъ пунктѣ цѣпи болѣе или менѣе отстоящемъ отъ источника дѣйствія. Скорость эта весьма различна въ различныхъ случаяхъ, но вообще весьма значительна. Такъ, разрядъ лейденской банки чувствуется почти мгновенно на всемъ протяженіи цѣпи, хотя бы эта цѣпь имѣла весьма большую длину Подобнымъ образомъ, при замыканіи гальванической батареи помощію весьма длиннаго проводника, токъ весьма скоро достигаетъ замѣтной силы на самыхъ отталенныхъ частяхъ, но во всякомъ случаѣ прежде въ пунктахъ болѣе близкихъ къ батареѣ чѣмъ въ болѣе удаленныхъ отъ нея.

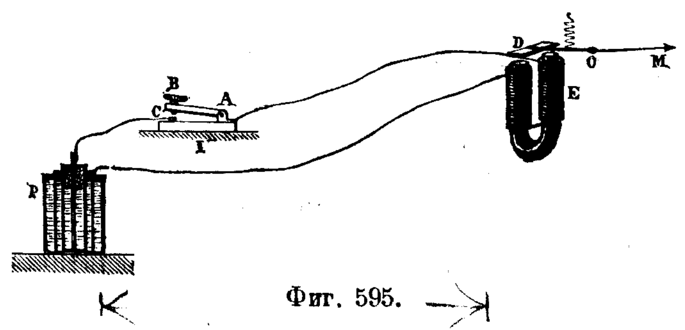
VIII. Нѣкоторыя приложенія электричества

§ 417. Электромагнитные телеграфы. Устройство электро-магнитныхъ телеграфовъ основывается: 1) на возможности, проведя проволоку съ одной станціи A на другую болѣе или менѣе отдаленную B, отклонить въ ту или другую сторону, дѣйствіемъ тока замыкаемаго на станціи A, магнитную стрѣлку находящуюся на станціи B, и притомъ почти въ тотъ самый моментъ когда произошло замыканіе цѣпи (телеграфъ Уитстона, введенный въ 1845 г. и долгое время преимущественно употреблявшійся въ Англіи); 2) на возможности, при подобныхъ условіяхъ, почти мгновенно *намагнитить* или опять *размагнитить* кусокъ желѣза помѣщенный на станціи B дѣйствіемъ тока замыкаемаго или прерываемаго на станціи A (американскій телеграфъ Морза и многіе другіе телеграфы). Ограничимся описаніемъ телеграфа Морза какъ преимущественно употребляемаго въ настоящее время *).

---

*) Вскорѣ послѣ первыхъ электро-магнитныхъ опытовъ Амперу пришла мысль приложить электро-магнетизмъ къ устройству телеграфовъ. Лапласъ указалъ на возможность помощію длинной проволоки привести въ движеніе магнитную стрѣлку, помещенную далеко отъ мѣста, гдѣ находится гальваническій снарядъ. Этимъ свойствомъ думалъ воспользоваться Амперъ для устройства телеграфовъ, предлагая „употреблять столько проводящихъ проволокъ и магнитныхъ стрѣлокъ сколько буквъ алфавита". Впрочемъ первая мысль о приложеніи электрическихъ

Фиг. 595 позволяетъ ознакомиться съ идеею этого снаряда. *P* изображаетъ батарею помѣщенную на первой станціи; *E* электро-магнитъ, то-есть кусокъ желѣза обматанный проволокой, находящійся на второй станціи; концы проволоки электромагнита протянуты чрезъ пространство раздѣляющее станціи



Фиг. 595.

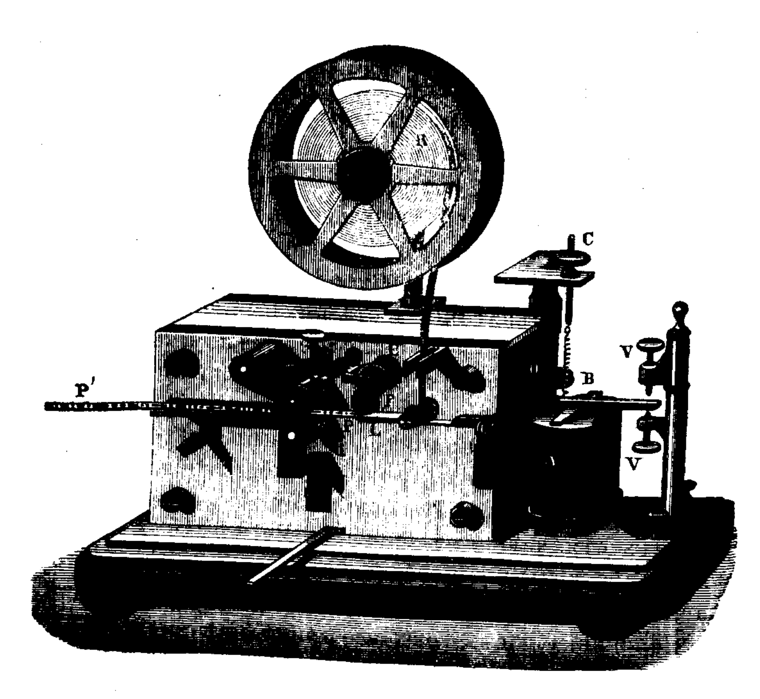
къ полюсамъ батареи *P*. Въ одной изъ проволокъ есть перерывъ занятый не большимъ снарядомъ *I*, помощію котораго можно замкнуть или

токовъ къ телеграфамъ принадлежитъ мюнхенскому ученому, Земмерингу (Soemmering, 1811). Но тогда не было извѣстно дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку, и потому Земмерингъ думалъ употребить, какъ сигналъ, разложеніе воды.

Баронъ Шиллингъ, чиновникъ русской службы, много занимался (1832) разрѣшеніемъ вопросовъ о электро-магнитномъ телеграфѣ и придумалъ рядъ остроумныхъ снарядовъ, не получившихъ, впрочемъ, практическаго примѣненія. Гауссъ и Веберъ въ Геттингенѣ провели (1836) проволоки отъ физическаго кабинета къ магнитной обсерваторіи, находящейся за городомъ, и посылая магнито-индуктивные токи съ одной станціи, отклоняли магнитную полосу на другой, передавая чрезъ то сигналы. Практическое осуществленіе электро-магнитнаго телеграфа для значительныхъ разстояній достигнуто главнымъ образомъ снарядами Уитстона и Морза. Телеграфы, кромѣ отклоняющихъ стрѣлку и пишущихъ, бываютъ: съ циферблатомъ, по которому ходитъ стрѣлка, указывая буквы; печатающія (какъ, напримѣръ, телеграфъ Юза); электрохимическіе (первый Байна, 1843 г.), къ которымъ принадлежитъ и замѣчательный пантелеграфъ Казелли, копирующій депешу въ томъ видѣ какъ она подана.

разомкнуть цѣпь связывающую батарею съ электромагнитомъ. Если нажать рукою на ручку *B*, то металлическая клавиша *AB* опустится; при *C* произойдетъ металлическое соединеніе, и токъ замкнется: въ тотъ же почти моментъ желѣзо электромагнита *E* сдѣлается магнитомъ. Какъ скоро нажатіе прекращено, клавиша подымается, токъ прерванъ, и электромагнитъ тотчасъ теряетъ силу. Намагничиваніе и размагничиваніе электро-магнита могутъ произвести какія-либо дѣйствія, которыми можно воспользоваться въ качествѣ телеграфныхъ сигналовъ. Такъ, представимъ себѣ что у полюсовъ электро-магнита находится желѣзный якорь на коромыслѣ удерживаемый пружиною на нѣкоторомъ отъ нихъ разстояніи. Какъ скоро электро-магнитъ получаетъ силу, якорь притягивается, и другой конецъ коромысла подымается. Самый стукъ сопровождающій притяженіе якоря можетъ служить сигналомъ. Снабдивъ другой конецъ коромысла остріемъ и проводя въ близкомъ отъ него разстояніи на валѣ бумажную ленту можно сдѣлать снарядъ отмѣчающимъ сигналы. Въ моментъ намагничиванія, подымающееся остріе прижимается къ бумагѣ и чертитъ на ней черту впродолженіе всего времени пока идетъ токъ въ проволокѣ электро-магнита. Какъ только токъ прерванъ, якорь подымается, остріе опускается и отходитъ отъ движущейся надъ нимъ бумажной ленты, такъ что на ней остается бѣлый промежутокъ до того момента когда опять замкнутъ токъ и остріе начинаетъ чертить на бумагѣ. Очевидно, что можно условиться различными соединеніями длинныхъ и короткихъ черточекъ и промежутковъ между ними изображать различныя буквы алфавита и такимъ образомъ передавать съ одной станціи на другую слова и рѣченія. Лента тянется (фиг. 596), сжимающими ее валиками *a* и *b*, приводимыми въ движеніе заведенною пружиною находящеюся

внутри аппарата. Винты V и U служатъ къ тому чтобы регулировать движеніе коромысла B удерживаемаго пружиною C на близкимъ разстояніи отъ электро-магнита A.



Фиг. 596.

Притяженіе коромысла, съ силою достаточною для того чтобы остріе чертило по бумажной лентѣ, требуетъ чтобы электро-магнитъ получилъ отъ проводимаго въ него съ другой станціи тока довольно значительное намагниченіе. Потому, при большихъ разстояніяхъ, даже сильная батарея не могла бы доставить токъ достаточно сильный для того чтобы аппаратъ работалъ. Въ такихъ случаяхъ аппаратъ приводятъ въ дѣйствіе токомъ особой *мѣстной* батареи,

стоящей на той самой станціи гдѣ аппаратъ. Токъ же батареи находящейся на первой станціи служитъ лишь къ тому чтобы замкнуть токъ мѣстной батареи, для чего достаточно самаго незначительнаго механическаго дѣйствія. Это достигается помощію небольшаго снаряда (*реле*, перекладка) состоящаго также изъ электро-магнита и коромысла испытывающаго незначительное передвиженіе, чрезъ что замыкается токъ.

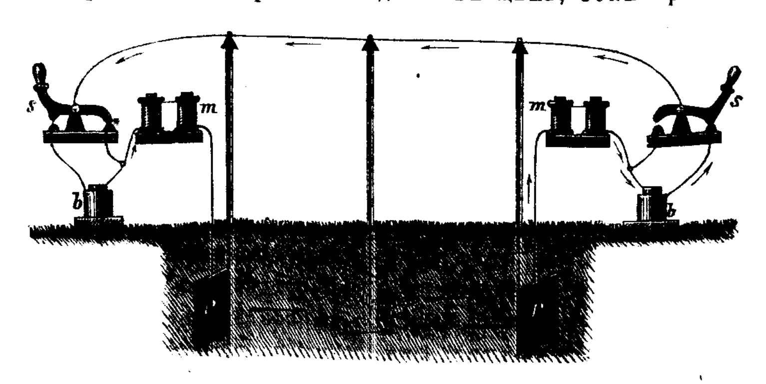
Въ новѣйшее время въ снарядахъ Морза сдѣлано усовершенствованіе позволяющее передавать сигналы на большія разстоянія безъ помощи реле. Коромысло не снабжается остріемъ а служитъ лишь къ тому чтобы концомъ своимъ (L на фиг. 596) немного приподнять бумажную ленту, чрезъ что она приходитъ въ прикосновеніе съ маленькимъ колесомъ F, окружность котораго постоянно покрыта чернилами (получаемыми имъ отъ напитаннаго ими мягкаго цилиндра E).

На фиг. 595 изображены двѣ проволоки: одна идущая отъ какого-либо полюса батареи P до электро-магнита, другаь возвращающаяся отъ электро-магнита къ другому полюсу батареи. Штейнгйель въ Мюнхенѣ (въ 1837 г.) нашелъ что нѣтъ надобности въ двухъ проволокахъ для того чтобы провести токъ съ одной станціи на другую и что можно воспользоваться землею въ качествѣ проводника замыкающаго цѣпь. Для этого достаточно отъ одного изъ полюсовъ батареи и отъ конца электро-магнита, который надлежало бы соединить съ этимъ полюсомъ, провести проволоки въ землю, окончивъ ихъ широкими металлическими досками (фиг. 597). Земля, какъ огромный проводникъ, приметъ въ себя какъ электричество непосредственно отведенное въ нее отъ соединеннаго съ доскою полюса батареи такъ и электричество отъ другаго полюса прошед-

шее чрезъ телеграфную проволоку въ электро-магнитъ и изъ него во вторую погруженную въ землю доску. При этомъ токъ не только не ослабляется сравнительно съ случаемъ когда станціи соединены двумя проволоками, но и значительно усиливается, ибо введенный въ цѣпь земной проводникъ представляетъ очень слабое сопротивленіе.

Не должно думать что слой земной коры лежащій между двумя досками играетъ роль проволоки или канала дополняющаго цѣпь и проводящаго электричество отъ одного полюса батареи къ другому. Какъ сказано, земной шаръ дѣйствуетъ какъ огромный проводникъ принимающій электричество какъ отъ того такъ и отъ другаго полюса. Роль земли выясняется довольно наглядно чрезъ слѣдующій воображаемый опытъ. Представимъ себѣ что станція A, гдѣ стоитъ батарея, находится на одной планетѣ, станція B, гдѣ электро-магнитъ, на другой планетѣ. Станціи соединены одною проволокой; несоединенные полюсъ и конецъ электро-магнита соединены каждый съ своей планетой. Токъ тѣмъ не менѣе могъ бы проходить и телеграфъ дѣйствовать.

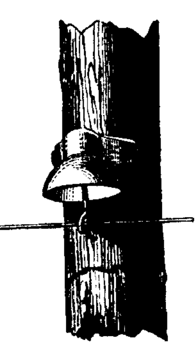
Фиг. 597 даетъ понятіе о соединеніи двухъ телеграфныхъ станцій для *взаимной* передачи депешъ помощію одной протянутой между ними проволоки. Снаряды изображены въ моментъ когда сигналъ передается съ правой станціи на лѣвую. На правой станціи молоточекъ ключа опущенъ на наковальню и чрезъ то батарея b введена въ цѣпь; токъ прохо-



Фиг. 597.

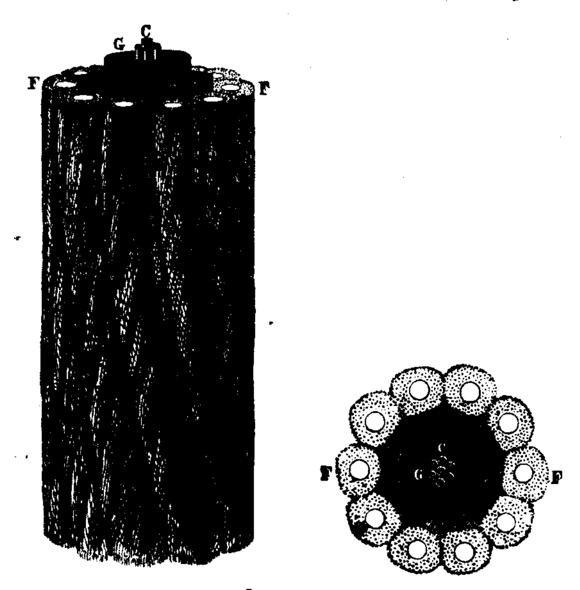
дитъ на лѣвую станцію и намагничиваетъ ея электро-магнитъ m.

Телеграфная проволока протягивается отъ станціи къ станціи обыкновенно на столбахъ. Такъ какъ она должна быть изолирована, чтобы токъ не уводился въ землю, то она прикрѣпляется къ столбу помощію изолирующихъ колпаковъ или стаканчиковъ (изъ фаянса, стекла и т. под.). Фиг. 598 даетъ понятіе объ одномъ изъ прикрѣпленій этого рода. Проволока употребляется обыкновенно желѣзная (мѣдь лучшій проводникъ и желѣзная проволока должна быть почти въ четверо толще чтобъ оказывать то же сопротивленіе какъ данная мѣдная; но мѣдь неупотребляется въ надземныхъ проволокахъ по дороговизнѣ матеріала). Телеграфныя проволоки проведенныя подъ землею (проволоки городскихъ телеграфовъ) и тѣмъ болѣе подводныя телеграфныя проволоки должны быть хорошо изолированы на всемъ протяженіи. Замѣчательный примѣръ подводной проволоки есть телеграфный трансъ-атлантическій канатъ соединяющій Европу съ Америкою и проложенный по дну Атлантическаго океана. Канатъ этотъ имѣетъ около 4000 километровъ длины и состоитъ изъ семи мѣдныхъ проволокъ (фиг. 599 на сл. стр.) образующихъ проводникъ помѣщенный по оси каната. Онѣ покрыты четырьмя слоями гуттаперчи. Снаружи канатъ одѣтъ слоемъ желѣзныхъ проволокъ, покрытыхъ каждая пенькою и улиткобразно огибающихъ канатъ. Эти проволоки назначаются для приданія канату прочности. Слой этотъ весьма тонокъ въ частяхъ каната опущенныхъ въ глубины далеко отстоящія отъ береговъ.



Фиг. 598.

Распространеніе электричества въ длинныхъ подводныхъ канатахъ представляетъ явленія любопытныя въ теоретическомъ

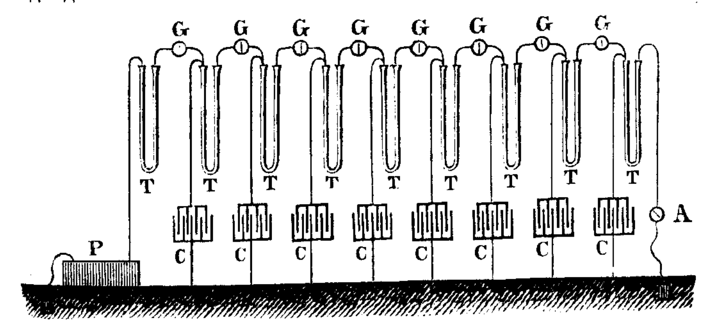


Фиг. 599.

отношеніи и служащія причиною того что для передачи телеграфныхъ сигналовъ по трансъ-атлантическому канату употребляется метода иная чѣмъ на обыкновенныхъ телеграфныхъ линіяхъ. Мѣдная проволока покрытая изолирующимъ слоемъ гуттаперчи представляетъ собою родъ конденсатора или лейденской банки внутреннею обкладкою которой служитъ мѣдь проволоки, наружною желѣзная оправа каната и самая вода омывающая его поверхность. По этой причинѣ слой свободнаго электричества, покрывающій проволоку по которой идетъ токъ, имѣетъ въ этомъ случаѣ значительно большую толщину или плотность чѣмъ слой на поверхности проволоки окруженной воздухомъ: электричество сгущается при поверхности внутренней проволоки какъ при внутренней обкладкѣ банки, будучи привлекаемо противоположнымъ электричествомъ возбужденнымъ чрезъ вліяніе во внѣшней проводящей оболочкѣ. Потому прежде чѣмъ установится движеніе электричества производящее токъ, проволока должна зарядиться: она должна вновь разрядиться прежде чѣмъ сдѣлается способною принять новый токъ.

Для ближайшаго изученія длиннаго подводнаго каната г. Варлей (Varley) устроилъ снарядъ позволяющій въ кабинетѣ

наблюдать обстоятельства передачи сигналовъ по длиннымъ подводнымъ линіямъ. Фиг. 600 изображаетъ такой искус-



Фиг. 600.

ственный канатъ Варлея. Онъ состоитъ изъ ряда трубокъ наполненныхъ каждая водою и соединенныхъ проводниками. Каждый такой жидкій столбъ представляетъ очень значительное сопротивленіе и въ этомъ отношеніи замѣняетъ весьма длинный металлическій проводникъ. Между трубками вставлены гальванометры *G*, *G*... Гальванометры соотвѣтствуютъ разнымъ пунктамъ или станціямъ каната. Къ трубкамъ присоединяются конденсаторы *C*... *C*... или боковые резервуары назначенные для того чтобъ обнаружить конденсирующее дѣйствіе каната. Когда пущенъ токъ, стрѣлки гальванометровъ отклоняются; но токъ вначалѣ имѣетъ весьма различную силу въ разныхъ пунктахъ: на ближайшихъ станціяхъ отклоненіе сразу достигаетъ полной величины, тогда какъ на отдаленныхъ еще очень слабо. Затѣмъ отклоненіе послѣдовательно возрастаетъ и на отдаленныхъ станціяхъ, такъ что наконецъ и на самой послѣдней достигаетъ весьма замѣтной величины. Понятно что снарядъ Морза помѣщенный на крайней станціи будетъ дѣйствовать очень медленно, ибо дѣйствіе начнется лишь когда токъ пріобрѣтетъ достаточную силу чтобы коромысло электромагнита было притянуто. Подобнымъ образомъ, когда токъ на первой станціи прерванъ, стрѣлка гальванометра крайней станціи лишь чрезъ нѣкоторое время возвратится въ покой, и коромысло отстанетъ отъ электромагнита.

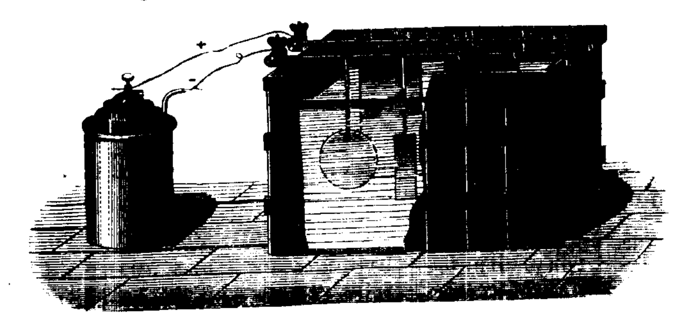
Чтобы устранить медленность въ передачѣ сигналовъ по трансъ-атлантическому канату, сигналы передаются не помощію аппарата Морза, а по системѣ В. Томсона, отклоненіемъ магнитной полосы обматанной изолированною проволокой и снабженной зеркальцемъ отражающимъ на скалу съ дѣленіями лучъ свѣта идущій отъ лампы (метода подобная указанной на страницѣ 498, только въ проложеніи на экранъ). Пускается токъ въ данномъ направленіи и тотчасъ за нимъ другой въ направленіи

противоположномъ. Едва первая волна успѣетъ дать малое отклоненіе стрѣлкѣ, какъ вторая уже нейтрализуетъ состояніе проволоки на всемъ протяженіи. Проволока становится свободною отъ электричества и можетъ передать новый сигналъ. Съ дальнѣйшимъ усовершенствованіемъ этой методы оказалось возможнымъ передавать до 120 сигналовъ въ минуту.

Конденсирующее дѣйствіе подводныхъ канатовъ обнаружилъ еще Фарадей, погрузивъ одинъ изъ такихъ канатовъ первоначальной конструкціи (безъ желѣзной проволочной оправы), въ смотанной формѣ, въ чанъ съ водою и соединивъ одинъ конецъ съ гальваническою батареей, другой оставивъ изолированнымъ (другой полюсъ батареи былъ соединенъ съ землею). Если опустить въ воду чана металлическую палку, держа ее въ одной рукѣ, а другою рукою коснуться свободнаго конца каната, то получается сотрясеніе какъ отъ разряда лейденской банки.

§ 418. Гальванопластика. Въ элементѣ Даніеля мѣдь выдѣляющаяся дѣйствіемъ тока изъ раствора мѣднаго купороса отлагается на мѣдномъ же электродѣ элемента. Въ 1837 году Якоби (петербургскій академикъ, тогда профессоръ въ Дерптѣ) изслѣдуя пленку такой мѣди осѣвшей на мѣдномъ цилиндрѣ элемента нашелъ что пленка эта сохранила на своей внутренней сторонѣ точный отпечатокъ слѣдовъ рѣзца случайно бывшихъ на томъ мѣстѣ мѣднаго цилиндра гдѣ она образовалась. Это повело къ изобрѣтенію *гальванопластики*, то-есть искусства производить гальваническимъ путемъ,—чрезъ разложеніе токомъ мѣднаго купороса,—мѣдные слѣпки разнообразныхъ предметовъ. Желаемъ, напримѣръ, получить точный слѣпокъ какой-либо медали. Предварительно приготовляется слѣпокъ или такъ-называемая форма изъ матеріала способнаго сохранить тончайшія подробности оригинала, напримѣръ, изъ стеарина наливаемаго въ разогрѣтомъ состояніи на медаль и легко отстающаго при охлажденіи, сохраняя углубленный отпечатокъ оригинала; также изъ воска, гипса, гуттаперчи (разогрѣтой и сильно нажимаемой на оригиналъ). Поверхность формы гдѣ должна осѣсть мѣдь дѣлается проводящею чрезъ натираніе порошкомъ графита.

Затѣмъ форма погружается въ ванну (фиг. 601) съ



Фиг. 601.

растворомъ мѣднаго купороса, помощію металлической перекладинки соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ гальванической батареи; ея положительный полюсъ сообщается съ другою перекладиной, несущей пластинку мѣди. Купоросъ разлагается, и мѣдь, отлагаясь на отрицательномъ электродѣ, каковымъ служитъ проводящая поверхность формы, образуетъ плотный слой несущій на себѣ рельефный отпечатокъ углубленій формы,

Сосудъ съ растворомъ купороса можетъ служить вмѣстѣ и ванною и гальваническимъ элементомъ. Въ такомъ случаѣ въ растворъ погружаютъ скважистый глиняный сосудъ, какія обыкновенно употребляются для элементовъ, наполняютъ его разжиженной сѣрною кислотой и вставляютъ внутрь его амальгамированный кусокъ цинка. Получается полный Даніелевъ элементъ, съ тою лишь разницею что камера содержащая растворъ купороса очень велика. Форма вѣшается на мѣдной проволокѣ приводимой въ сообщеніе съ цинковымъ кускомъ. Чрезъ это цѣпь замыкается, и токъ, разлагая купоросъ, покрываетъ форму слоемъ мѣди.

На разложеніи солей серебра и золота гальваническимъ токомъ и выдѣленіи этихъ металловъ на

электродѣ соединенномъ съ отрицательнымъ полюсомъ батареи основывается *гальваническое серебренiе и золоченiе,*

§ 419. Электричество какъ двигатель: электродвигательныя машины. Изобрѣтатель гальванопластики Якоби одинъ изъ первыхъ стремился осуществить идею машины которая позволяла бы воспользоваться электро-магнетизмомъ въ качествѣ движущей силы. Въ 1838 году Якоби устроилъ на Невѣ лодку на 12 человѣкъ, приводимую въ движенiе электро-магнитною машиною. Съ тѣхъ поръ много изобрѣтено моделей подобныхъ машинъ, но такъ какъ сила ихъ не значительна, а издержки на гальваническую батарею приводящую ихъ въ дѣйствiе дѣлаютъ электричество слишкомъ дорогимъ двигателемъ, то онѣ не получили практическаго употребленiя (за исключенiемъ употребленiя при нѣкоторыхъ физическихъ изысканiяхъ научнаго свойства). Всѣ онѣ основываются на намагничиванiи и перемагничиванiи мягкаго желѣза дѣйствiемъ тока. Представимъ себѣ, напримѣръ, два желѣзные цилиндра висящiе на коромыслѣ и погруженные концами въ осевые каналы двухъ электромагнитныхъ бобинъ. Какъ скоро токъ пущенъ въ проволоку одной изъ нихъ, соотвѣтствующiй цилиндръ быстро притягивается внутрь бобины и наклоняетъ коромысло въ свою сторону. Но когда онъ свершилъ нѣкоторую долю пути,—сообщенiе съ батареею прерывается, и токъ впускается въ проволоку другой бобины. Она притягиваетъ цилиндръ висящiй на другомъ концѣ, и коромысло наклоняется въ ея сторону. Такимъ образомъ можно дать коромыслу качательное движенiе подобное движенiю шатуна въ паровой машинѣ и устроить снарядъ въ маломъ видѣ представляющiй подобiе этой машины, но приводимый въ движенiе электричествомъ.

ОТДѢЛЪ ПЯТЫЙ.

ОБЩАЯ ФИЗИКА.

I. Начала механики.

Ученiе о равновѣсiи.

§ 420. Выводъ правила рычага *) по способу Архимеда. Представимъ себѣ математическую линiю обремененную одинаковыми и одинаково расположенными грузами какъ на фиг. 602. Подпертая въ срединѣ, эта линiя очевидно должна остаться въ равновѣсiи, оказывая на точку опоры C давленiе равное суммѣ всѣхъ грузовъ, такъ какъ точка C держитъ на себѣ всю ихъ совокупность. Допустимъ далѣе, что *безъ нарушенiя равновѣсiя* можно каждые два равные груза замѣнить однимъ равнымъ ихъ суммѣ и привѣшеннымъ въ срединѣ между ними **). Такимъ образомъ два груза a и c можно снять съ мѣста и привѣсить подъ грузомъ b, такъ что въ точкѣ E будетъ дѣйствовать тройной грузъ: рычагъ останется въ равновѣсiи. Подобнымъ образомъ грузы

A E O D B
a b c e f g h

Фиг. 602.

A E O D B

Фиг. 603.

*) О рычагѣ см. въ первомъ отдѣлѣ §§ 8—15.

**) Законность такого допущенiя не доказывается, и въ этомъ недостатокъ приводимаго здѣсь доказательства.

d и h, e и g можно, не нарушая равновѣсія, привѣсить подъ грузомъ f, такъ что въ точкѣ D будетъ дѣйствовать пятерной грузъ. Видимъ, слѣдовательно, что пятерной грузъ (фиг. 603) привѣшенный въ точкѣ D уравновѣшивается тройнымъ привѣшеннымъ въ точкѣ E. Видимъ вмѣстѣ съ тѣмъ что разстояніе OE относится къ разстояніи OD какъ пять къ тремъ, то-есть плечи обратно пропорціональны величинѣ силъ, что̀ и требовалось доказать.

Чтобы сдѣлать выводъ независимымъ отъ числа привѣшенныхъ грузовъ, можно, въ болѣе общемъ видѣ, вмѣсто математической линіи однообразно обремененной грузами, разсматривать однородную *тяжелую* линію (фиг. 604) лежащую срединою на препятствіи O. Линія останется въ равновѣсіи. Каждую часть ея длины можно разсматривать какъ грузъ равный вѣсу этой части и привѣшенный въ ея срединѣ. Раздѣлимъ такую линію AB на двѣ неравныя части AC и CB. Назовемъ вѣсъ CB буквою P, вѣсъ части AC буквою Q. Дѣйствіе части AC можно замѣнить дѣйствіемъ груза равнаго вѣсу этой части и привѣшеннаго въ точкѣ E, срединѣ линіи AC; дѣйствіе части CB грузомъ равнымъ вѣсу этой части и привѣшеннымъ въ точкѣ D, срединѣ линіи CB.

A E O C D B

Фиг. 604.

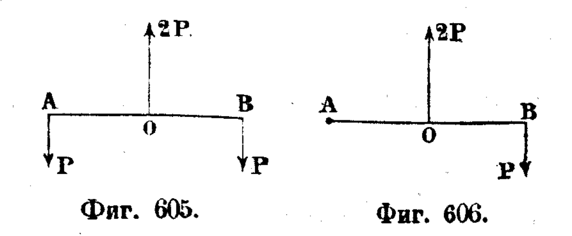
Но $OE = AO - AE = \frac{1}{2}AB - \frac{1}{2}AC = \frac{1}{2}(AB-AC) = \frac{1}{2}CB$

$OD = OB - DB = \frac{1}{2}AB - \frac{1}{2}CB = \frac{1}{2}(AB - CB) = \frac{1}{2}AC$,

слѣдов. $OE : OD = CB : AC$. Но такъ какъ $P : Q = CB : AC$, то

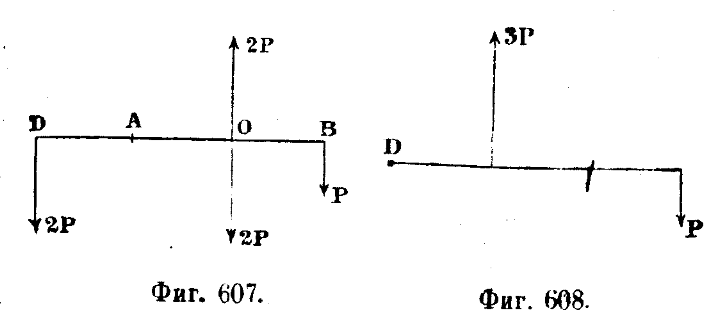
$P : Q = OE : OD$ что̀ и требовалось доказать.

§ 421. Доказательство правила рычага по способу Маклорена. Два равные груза P и P на равноплечемъ рычагѣ (фиг. 605)



Фиг. 605. Фиг. 606.

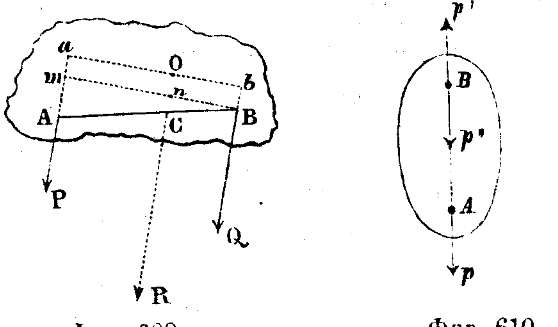
остаются, очевидно, въ равновѣсіи и давятъ на точку опоры съ силою равною ихъ суммѣ, то-есть $2P$. Потому вмѣсто того чтобы подпирать рычагъ, мы можемъ приложить въ точкѣ O силу $2P$ дѣйствующую вверхъ: рычагъ останется въ равновѣсіи. Равновѣсіе сохранится, если вмѣсто одного изъ грузовъ P помѣстимъ надъ концемъ A неподвижное препятствіе. Но въ такомъ случаѣ будемъ имѣть рычагъ втораго рода (§ 11). Видимъ что на рычагѣ этого рода сила приложенная къ концу уравновѣшиваетъ двойную силу приложенную къ срединѣ: силы обратно пропорціональны соотвѣтствующимъ плечамъ. Предполагая рычагъ продолженнымъ, приложимъ (фиг. 606) въ D и O силы $2P$ и $2P$ дѣйствующія внизъ. Равновѣсіе не нарушится, ибо силы эти взаимно уравновѣшиваются около точки опоры A. Но дѣйствующія въ точкѣ O одна противъ другой двѣ силы $2P$ взаимно уничтожаются и потому могутъ быть удалены безъ нарушенія равновѣсія. Остается рычагъ перваго рода съ двумя уравновѣшивающимися силами P и $2P$, плечи которыхъ суть AB и $AD = \frac{1}{2}AB$. Такимъ образомъ и на рычагѣ перваго рода сила приложенная къ плечу двойной длины уравновѣшиваетъ двойную силу приложенную къ плечу, длина котораго единица. Принявъ въ соображеніе что въ послѣднемъ изъ разобранныхъ случаевъ точка опоры A испытываетъ давленіе равное вѣсу $3P$, приложимъ въ этой точкѣ силу $3P$, дѣйствующую вверхъ, а точку D, удаливъ грузъ $2P$, удержимъ неподвижнымъ препятствіемъ. Получимъ рычагъ (фиг. 607) втораго рода, на которомъ уравновѣшивается сила въ три раза большая силою равною единицѣ, если послѣдняя приложена на разстояніи втрое большемъ отъ точки опоры. Доказательство можно продолжить для случая силы въ 4, 5, 6 и т. д. большей, и слѣдовательно сдѣлать общимъ.



Фиг. 607. Фиг. 608.

§ 422. Дѣйствіе на тѣло вообще параллельныхъ силъ. Мы представляли себѣ рычагъ какъ математическую линію и силы направленными перпендикулярно къ этой линіи. Остановимся на болѣе общемъ случаѣ тѣла могущаго вращаться

около точки O и подверженнаго дѣйствію двухъ параллельныхъ силъ P и Q приложенныхъ (фиг. 609) въ точкахъ A и B. При какихъ условіяхъ тѣло останется въ равновѣсіи? Подъ именемъ *тѣла* будемъ разумѣть то что въ механикѣ именуется *неизмѣняемою системой*, то-есть совокупность матеріальныхъ точекъ остающихся на неизмѣняющихся разстояніяхъ одна отъ другой. Подъ такое опредѣленіе въ строгомъ смыслѣ подходитъ лишь абсолютно твердое тѣло, такъ какъ всѣ встрѣчающіяся въ природѣ твердыя тѣла могутъ сгибаться, сжиматься и т. д. и слѣд. лишь приблизительно подходятъ подъ



Фиг. 609. Фиг. 610.

сказанное опредѣленіе. Тѣло, для простоты разсужденія, предполагаемъ состоящимъ изъ матеріальныхъ точекъ не имѣющихъ вѣса *.

Чтобы рѣшить предыдущій вопросъ прибѣгнемъ къ слѣдующей теоремѣ: точку приложенія силы (фиг. 610) можно перенести во всякую точку лежащую по ея направленію. Пусть сила приложена въ A. Точку приложенія можно перенести въ B. Дѣйствительно, вообразимъ, что въ точкѣ B приложены въ противоположномъ направленіи двѣ силы p' и p'' равныя между собою и силѣ p. Мы въ правѣ присоединить такія двѣ силы, такъ какъ ихъ дѣйствіе равняется нулю, ибо онѣ взаимно уничтожаются. Но, разсматривая данную силу p и силу p' какъ двѣ равныя силы дѣйствующія на концы линіи AB, видимъ что онѣ взаимно уничтожаются. Слѣдовательно остается сила p'', равная и одинаково направленная съ силою p, но приложенная въ точкѣ B.

Воспользуемся этимъ правиломъ въ приложеніи къ разсматриваемому нами случаю. Опустимъ (фиг. 609) изъ точки

* При осуществленіи на опытѣ различныхъ случаевъ дѣйствія силъ мы по необходимости должны употреблять тяжелыя тѣла, но умѣнье представить себѣ тѣло безъ вѣса и тяжесть какъ внѣшнюю силу, дѣйствующую на тѣло,—важное условіе для яснаго пониманія истинъ механики.

O перпендикуляръ $a\ b$ на направленіе силъ P и Q. Перенесемъ точку приложенія силы Q въ точку m, точку приложенія силы P въ точку b. Получаемъ прямолинейный рычагъ aOb на который дѣйствуютъ силы P и Q. Онѣ будутъ въ равновѣсіи если $P\,.\,aO = Q\ bO$. Точка O испытываетъ давленіе равное суммѣ силъ $P+Q$ и слѣдов. силы P и Q дѣйствуютъ какъ одна сила R *равная ихъ суммѣ и направленная параллельно съ ними*. Направленіе силы R пересѣкаетъ линію AB въ точкѣ C, которая, какъ легко доказать, *раздѣляетъ линію AB на части обратно пропорціональныя величинѣ силъ P и Q* Дѣйствительно, проведя линію Bm параллельно ab и означивъ точку n гдѣ направленіе силы R пересѣкаетъ эту линію, видимъ что части nB и nm линіи Bm равныя частямъ Ob и Oa линіи ab, пропорціональны частямъ CB и CA линіи AB. Слѣд. $P\,.\,CA = Q\,.\,CB$.

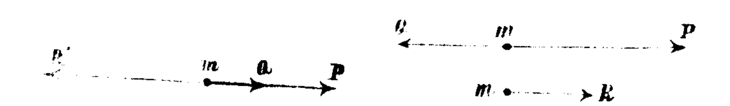
Если въ точкѣ C, удовлетворяющей только что выведенному условію, приложить силу равную найденной силѣ R, но направленную въ противоположную сторону, то-есть вверхъ отъ точки C, то сила эта, уничтожая дѣйствіе силы R замѣняющей совокупность силъ P и Q, очевидно, удержитъ тѣло въ равновѣсіи и притомъ независимо отъ того, удержана точка O или нѣтъ. Другими словами сила уравновѣшивающая двѣ другія параллельныя между собою и приложенныя въ нѣкоторыхъ точкахъ A и B равна ихъ суммѣ, параллельна имъ, но направлена въ противоположную сторону и проходитъ чрезъ точку раздѣляющую линію AB на части обратно пропорціональныя величинѣ силъ P и Q.

§ 423. Понятіе о равнодѣйствующей силѣ и силахъ слагающихъ. Если одна сила уравновѣшиваетъ собою дѣйствіе какого-нибудь числа силъ приложенныхъ къ системѣ точекъ неизмѣняемо между собою соединенныхъ, то всю совокупность этихъ силъ можно разсматривать какъ одну силу R равную и противоположную первой. Эта сила R называется *равнодѣйствующею* по отношенію къ силамъ которыя она замѣняетъ и которыя именуются ея *составляющими*.

Если на точку m дѣйствуютъ по одному направленію и въ одну сторону двѣ силы P и Q то можно принять какъ аксіому, что *равнодѣйствующая* R равна ихъ суммѣ $R = P + Q$.

Еслибы мы приложили въ точкѣ m силу R' равную по величинѣ силѣ R (фиг. 611), но направленную въ противоположную сторону, то три силы: P, Q и R' остались бы въ равновѣсіи.

Если на точку m дѣйствуютъ двѣ силы: одна P направленная вправо, другая Q по противоположному направленію (фиг. 612), то мы можемъ бóльшую, изъ нихъ, P, замѣнить двумя: одною, равною по ве-



Фиг. 611 Фиг. 612.

личинѣ Q; другою, равною $P-Q$ (ихъ сумма составляетъ P). Дѣйствіе первой уничтожается дѣйствіемъ силы Q, остается сила $P-Q$, которая, слѣдовательно, и представляетъ собою *равнодѣйствующую* силъ P и Q въ этомъ случаѣ. Назвавъ ее R, имѣемъ

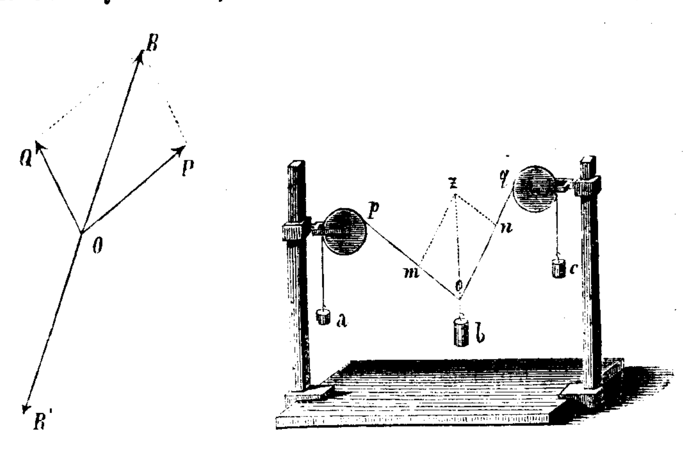
$$R = P - Q.$$

То-есть, равнодѣйствующая равняется разности силъ P и Q и направлена въ сторону большей изъ нихъ.

§ 421. Параллелограммъ силъ. Наконецъ на точку могутъ дѣйствовать двѣ силы P и Q такъ, что ихъ направленія составляютъ между собою какой-нибудь уголъ. Требуется найти направленіе и величину *одной* силы R, которая, будучи приложена къ этой точкѣ, замѣнила бы собою дѣйствіе нашихъ *двухъ* силъ. Въ механикѣ доказывается, что всегда можно найти такую силу слѣдующимъ построеніемъ. Должно на силахъ P и Q построить *параллелограммъ*, проведя (фиг. 613) изъ точки Q линію параллельную силѣ P и изъ точки P, линію параллельную силѣ Q. Діагональ этого параллелограмма представитъ собой направленіе и величину равнодѣйствующей силы. Эта теорема, одни изъ главнѣйшихъ теоремъ *статики*, (ученіе о равновѣсіи) называется правиломъ *параллелограмма силъ*.

Если мы приложимъ къ точкѣ O силу R', равную по величинѣ равнодѣйствующей R, но направленную

въ противоположную сторону, то три силы P, Q и R' останутся въ *равновѣсіи*.



Фиг. 613. Фиг. 614.

Слѣдующій опытъ можетъ служить къ поясненію правила *параллелограмма силъ* на опытѣ. Въ точкѣ o (фиг. 614) укрѣплены двѣ нити, перекинутыя чрезъ блоки и несущія одна грузъ a, другая грузъ c. Мы можемъ въ точкѣ o привѣсить такой грузъ b, что вся система останется въ равновѣсіи. Грузы a и c тянутъ точку o по направленіямъ oq и op, и представляютъ слѣдовательно двѣ силы, дѣйствующія на o подъ угломъ poq; грузъ b тянетъ точку o внизъ по вертикальному направленію и представляетъ третью силу, которая уравновѣшиваетъ дѣйствіе двухъ первыхъ. Тогда, отложивъ по направленію линій op и oq длины on и om, которыя относятся между собою какъ величины грузовъ c и a, найдемъ, что направленіе по которому дѣйствуетъ грузъ b, будучи продолжено вверхъ, пойдетъ по діагонали параллелограмма построеннаго на линіяхъ on и om. Эта діагональ oz во столько разъ будетъ болѣе стороны on,

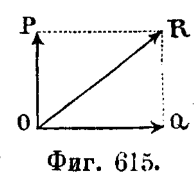
во сколько сила b болѣе силы c; и во столько разъ болѣе om, во сколько b болѣе силы a. Другими словами линія oz изображаетъ направленіе и величину *равнодѣйствующей силы*.

Если бы на разсматриваемую точку дѣйствовали не двѣ, но три, четыре и болѣе силъ, то и въ такомъ случаѣ мы могли бы по правилу параллелограмма силъ найти ихъ равнодѣйствующую. Соединяя первую силу со второю, получимъ ихъ равнодѣйствующую. Слагая эту послѣднюю съ третьею силою, будемъ имѣть общую равнодѣйствующую трехъ данныхъ силъ и т. д.

Если мы можемъ замѣнить дѣйствіе двухъ силъ одною силою, то, и наоборотъ, можноодну силу замѣнить двумя ея составляющими. Такое разложеніе силъ употребляется весьма часто. Уголъ между этими слагающими можетъ быть произвольный, но онѣ должны быть сторонами параллелограмма, въ которомъ данная сила должна представлять діагональ.

Наконецъ, данную силу можно разложить не только на двѣ, но и на какое угодно число составляющихъ силъ.

Обыкновенно разлагаютъ силу на двѣ перпендикулярныя между собою силы. Въ такомъ случаѣ равнодѣйствующая OR или R есть гипотенуза (фиг. 615) прямоугольнаго треугольника ROP, котораго катеты представляютъ величину составляющихъ. Слѣдов., назвавъ силы OP и OQ буквами P и Q будемъ имѣть



Фиг. 615.

$$R^2=P^2+Q^2 \text{ или } R=\sqrt{P^2+Q^2}$$

Уголъ α, который равнодѣйствующая дѣлаетъ съ одною изъ силъ, напримѣръ съ P, выводится изъ того же треугольника дающаго

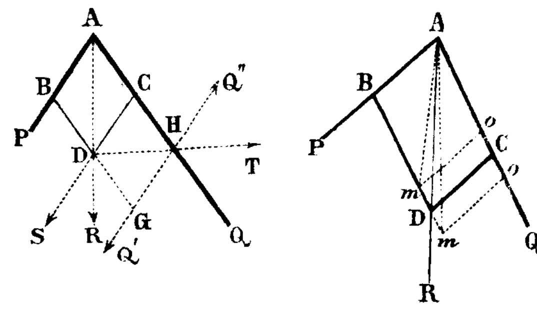
$$\operatorname{tang}\alpha=\frac{RP}{OP}=\frac{Q}{P}.$$

Наконецъ величина слагающихъ P и Q выражется

$$P=R.\cos ROP=R.\cos\alpha$$
$$Q=R.\cos ROQ=R.\sin\alpha$$

Слѣдовательно каждая составляющая равна равнодѣйствующей помноженной на косинусъ угла, заключающагося между ними.

§ 425. Доказательство правила параллелограмма силъ по способу Пуансо. Построимъ параллелограммъ на силахъ P и Q, приложенныхъ въ точкѣ A и относящихся между собою какъ длины линій AB и AC. „Отложимъ на продолженіи линіи BD (фиг. 616) часть $DG=DC$ и начертимъ ромбъ $DGHC$. Приложимъ въ точкахъ G и H, въ направленіи GH, двѣ силы Q' и Q'' противоположныя одна другой и равныя между собою и съ силою Q. Легко видѣть что равнодѣйствующая четырехъ силъ P, Q, Q', Q'' должна пройти чрезъ точку D. Ибо 1) по причинѣ $Q'=Q$ двѣ параллельныя силы P и Q' должны относиться между собою какъ стороны AB и AC или какъ DC и DB, или наконецъ, по причинѣ $DC=DG$, какъ линіи DG и DB; а слѣдовательно ихъ равнодѣйствущая S должна проходить чрезъ D; 2) такъ какъ двѣ силы Q и Q'' равны между собою, то равнодѣйствующая ихъ T, будучи продолжена, должна (очевидно) раздѣлять на двѣ равныя части уголъ CHG ромба $CDGH$ и слѣдов. также проходить чрезъ точку D, гдѣ и можно вообразить ее приложенною. Итакъ общая равнодѣйствующая,— какъ равнодѣйствующая силъ S и T,—должна проходить чрезъ точку D. Но такъ какъ двѣ силы Q' и Q'' приложенныя по GH равны и противоположны, то онѣ взаимно уничтожаются, и равнодѣйствующая четырехъ силъ тождественна съ равнодѣйствующею двухъ силъ P и Q. Слѣдов., поелику первая проходитъ чрезъ D, равнодѣйствующая силъ P и Q должна проходить чрезъ ту же точку. Проходя заразъ чрезъ точки A и D, равнодѣйствующая необходимо должна быть направлена по діагонали AD.“



Фиг. 616. Фиг. 617.

„Отсюда слѣдуетъ что если мы знаемъ только направленіе двухъ силъ P и Q, да направленіе ихъ равнодѣйствующей R, то можемъ опредѣлить отношеніе величины силы P къ величинѣ силы Q. Дѣйствительно, взявъ (фиг. 617) на направленіи равнодѣйствующей какую-нибудь точку D и проведя изъ этой точки линіи DC и DB, параллельныя направленіямъ слагающихъ P и Q и встрѣчающія эти направленія въ C и B, необходимо

$$\frac{an}{P} = \frac{on}{p} \text{ и } \frac{nb}{Q} = \frac{mn}{q}$$

или $P \cdot on = p \cdot an$ и $Q \cdot mn = q \cdot nb$.

Но такъ какъ вторыя части этихъ уравненій по предыдущему равны между собою, то

$$P \cdot on = Q \cdot mn.$$

То-есть, произведенія силъ на перпендикуляры опущенные изъ точки опоры на направленія этихъ силъ, въ случаѣ равновѣсія, должны быть равны между собою.

Эти произведенія называются *моментами* силъ. Слѣдовательно условіе равновѣсія силъ P и Q на рычагѣ состоитъ въ томъ что *ихъ моменты должны быть равны между собою.*

3) *Приложеніе къ случаю устойчиваго и неустойчиваго равновѣсія.* Когда тѣло качающееся на оси A и котораго центръ тяжести ниже точки привѣса, выведено изъ положенія равновѣсія (фиг. 621, II), то его вѣсъ можно представить себѣ разложеннымъ на двѣ силы. Одна изъ нихъ Gm уничтожается сопротивленіемъ оси; повинуясь другой Gn, означенной на чертежѣ стрѣлкою, тѣло приходитъ въ движеніе и возвращается въ вертикальное положеніе.

Если центръ тяжести выше оси A (фиг. 621, I), то повинуясь составляющей, означенной стрѣлкою, тѣло падаетъ, удаляясь отъ положенія равновѣсія.

Фиг. 621.

Фиг. 622.

4) *Приложеніе къ опредѣленію силы гонящей маятникъ къ положенію равновѣсія.* На простой маятникъ выведенный изъ положенія равновѣсія до положенія A' (фиг. 622) дѣйствуетъ сила тяжести по вертикальному направленію. Разложимъ эту силу на двѣ: $A'n$ и $A'c$. Первая уничтожается сопро-

тивленіемъ точки привѣса и производитъ только натяженіе нити. Повинуясь дѣйствію второй, тѣло придетъ въ движеніе, описывая дугу и приближаясь къ вертикальной линіи OA. Во всякомъ новомъ положеніи A'' сила тяжести продолжаетъ дѣйствовать, но разлагая ее на двѣ, найдемъ, что величина составляющей, отъ которой зависитъ движеніе по дугѣ, будетъ при A'' менѣе, чѣмъ при A' (при A' эта составляющая была $A'c$, при A'' это $A''c$). Вообще эта составляющая тѣмъ менѣе, чѣмъ ближе наша точка приближается къ вертикальному положенію. Но движеніе постепенно ускоряется, ибо къ скорости, сохраняющейся по инерціи, постоянно прибавляется новое приращеніе. При A маятникъ имѣетъ наибольшую скорость. Хотя въ этомъ положеніи на него *по направленію движенію* не дѣйствуетъ ни какая сила, онъ не можетъ остаться въ покоѣ, такъ какъ имѣетъ уже пріобрѣтенную скорость. Въ этотъ моментъ онъ представляетъ собою родъ брошеннаго тѣла, которое двигалось бы по горизонтальному направленію, еслибы не было нити, его удерживающей. Поднимаясь, тѣло будетъ принимать влѣво отъ вертикальной линіи такія же положенія, какія оно имѣло вправо. Составляющая тяжести будетъ дѣйствовать *противоположно* направленію движенія; скорость движенія будетъ послѣдовательно уменьшаться до положенія B. Въ положеніи B скорость будетъ равна нулю, но такъ какъ тяжесть продолжаетъ дѣйствовать, то тѣло не остановится въ этомъ положеніи, но будетъ возвращаться слѣва вправо и т. д.

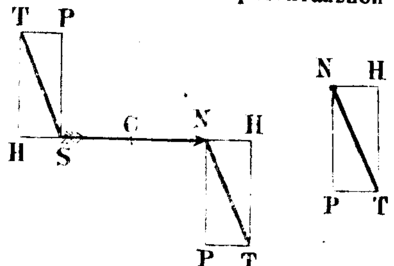
Легко выразить самую величину составляющей дѣйствующей по направленію движенію. Назовемъ уголъ отклоненія маятника буквою φ (въ положеніи A' уголъ $\varphi = A'OA$, въ положеніи A'' уголъ $\varphi = A''OA$ и т. д.); мы видимъ что составляющая $A'c = A'P \cdot \sin A'OA$; составляющая $A''c = A''P \cdot \sin A''OA$. Вообще, назвавъ всю силу тяжести буквою P, ея составляющую и дѣйствующую по направленію движенія буквою F, будемъ имѣть.

$$F = P \cdot \sin \varphi.$$

Чѣмъ менѣе φ тѣмъ менѣе F. Въ вертикальномъ положеніи $\varphi = o$; имѣемъ $F = o$.

5) *Приложеніе къ случаю дѣйствія земли на магнитную стрѣлку.* Представимъ себѣ магнитную стрѣлку (фиг. 623) подпертую въ ея центрѣ тяжести C и помѣщенную въ плоскости магнитнаго меридіана (за таковую примемъ плоскость чертежа). Линія NT пусть изображаетъ направленіе и величину силы съ какою земной магнетизмъ дѣйствуетъ на сѣверный полюсъ стрѣлки N. Линія ST параллельная линіи NT изобразитъ въ такомъ случаѣ дѣйствіе земли на южный полюсъ. Разложимъ силу NT на двѣ: горизонтальную составляющую NH и вертикальную NP. Уголъ TNH есть уголъ наклоненія, который назовемъ буквою.

Видимъ что $NH = NT \cdot \cos\varphi$, формула позволяющая по данному наклоненію и величинѣ горизонтальной составляющей



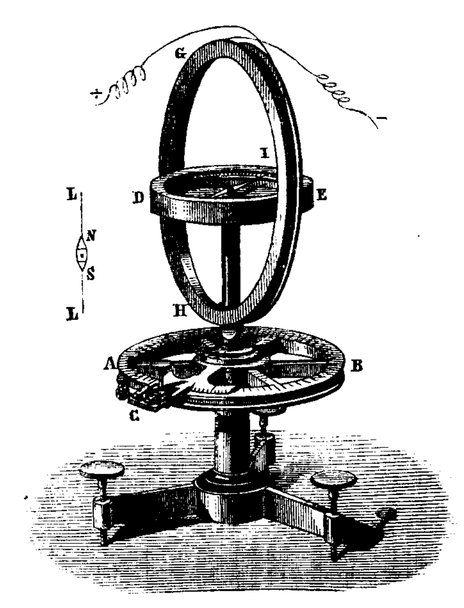
Фиг. 623.

земнаго магнетизма найти величину полной силы NT. Силы NH и SH, при горизонтальномъ положеніи стрѣлки въ меридіанѣ, взаимно уничтожаются; вертикальныя NP и SP стремятся наклонить стрѣлку сѣвернымъ концемъ книзу (если стрѣлка свободна, то она дѣйствительно наклоняется до тѣхъ поръ пока приметъ направленіе параллельное съ направленіемъ полной силы). Если хотимъ, не смотря на дѣйствіе вертикальныхъ составляющихъ, сохранить стрѣлку въ горизонтальномъ положеніи, то должны или обременить южную половину стрѣлки CS небольшимъ грузомъ (если грузъ помѣстимъ въ самомъ полюсѣ S, то онъ долженъ равняться двойной величинѣ вертикальной слагающей) или подпереть стрѣлку не въ центрѣ тяжести, а нѣсколько ближе къ концу N.

Допустимъ теперь что стрѣлка подпертая въ центрѣ тяжести поставлена въ плоскости перпендикулярной къ плоскости магнитнаго меридіана (за каковую будемъ продолжать принимать плоскость чертежа) и можетъ обращаться только въ той плоскости, въ которой поставлена (такъ будетъ если, напримѣръ, плоскость компаса наклоненія, фиг. 452, поставлена перпендикулярно магнитному меридіану). На чертежѣ изобразимъ сѣверный полюсъ N (воображая стрѣлку сзади плоскости чертежа). Направленіе дѣйствія земли изобразится линіей NT какъ на предыдущей фигурѣ. Горизонтальная составляющая NH, какъ и параллельная ей дѣйствующая на южный полюсъ, не могутъ произвести дѣйствія, ибо стрѣлка, какъ сказано, можетъ обращаться только въ плоскости перпендикулярной меридіану. Остаются вертикальныя слагающія, которыя и приводятъ стрѣлку въ вертикальное положеніе, такъ что уголъ наклоненія сдѣлается равнымъ 90°.

6) *Приложеніе къ случаю измѣренія силы гальваническаго тока помощію снарядовъ именуемыхъ тангенсъ-буссоль и синусъ-буссоль.* Фиг. 624 изображаетъ снарядъ который можно употреблять въ качествѣ какъ тангенсъ-буссоли такъ и синусъ-буссоли.

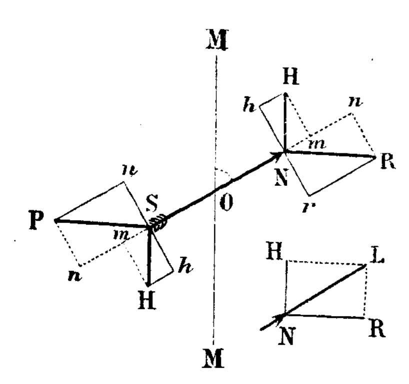
Въ центрѣ кольца обмотаннаго изолированною довольно толстою проволокой помѣщается на остріѣ (или вѣшается на нити)



Фиг. 624.

короткая магнитная полоска съ указателями позволяющими измѣрять ея отклоненія помощію раздѣленнаго круга. Кольцо устанавливается первоначально въ плоскости магнитнаго меридіана: плоскость кольца совпадаетъ слѣдовательно съ направленіемъ стрѣлки. Но какъ скоро въ проволоку пропущенъ токъ, стрѣлка отклоняется и устанавливается въ новомъ положеніи равновѣсія (токъ предполагаемъ постояннымъ), образующимъ съ меридіаномъ нѣкоторый уголъ φ. Не трудно доказать что сила тока пропорціональна тангенсу этого угла. Допустимъ что на фиг. 625 MM есть плоскость меридіана, NS направленіе отклоненной стрѣлки, уголъ $MON = \psi$. На полюсъ N дѣйствуютъ двѣ силы: сила земнаго магнетизма NH и сила съ какою токъ дѣйствуетъ на полюсъ N. Согласно закону дѣйствія тока на магнитную частицу или магнитный полюсъ, сила эта, въ случаѣ когда частица или полюсъ находится въ плоскости тока, перпендикулярна къ этой плоскости. Потому, когда стрѣлка была въ меридіанѣ, направленіе силы тока было перпендикулярно къ плоскости кольца. Если стрѣлка весьма коротка, то направленіе это не могло много измѣниться и при

отклоненномъ положеніи стрѣлки, ибо, вслѣдствіе ея малыхъ размѣровъ, удаленіе полюсовъ отъ плоскости кольца самое не-



Фиг. 625.

значительное. Потому допустимъ, что и при отклоненномъ положеніи стрѣлки сила тока стремящаяся удалить ее отъ плоскости меридіана направлена перпендикулярно къ нему, слѣд. на чертежѣ можетъ быть изображена линіею NR перпендикулярною къ MM. Разлагаемъ каждую изъ ситъ NH и NR на двѣ: по направленію отклоненной стрѣлки и перпендикулярно къ ней. Составляющія по направленію стрѣлки не имѣютъ вліянія на отклоненіе и тянутъ стрѣлку вдоль, причемъ ихъ дѣйствіе уничтожается противоположнымъ дѣйствіемъ таковыхъ же соотвѣтствующихъ полюсу S. Остаются, при точкѣ N, силы Nh и Nr. Если эти силы равны между собою, то стрѣлка остается въ покоѣ (при равенствѣ Nh и Nr, силы Sh и Sr также равны). Итакъ условіе равновѣсія стрѣлки въ томъ чтобы $Nh = Nr$. Но

$$Nh = NH.\cos HNh = NH.\ \sin HNn = NH\sin\varphi$$

$$Nr = NR.\cos RNr = NR.\cos\varphi$$

Слѣдов. $NH.\sin\varphi = NR.\cos\varphi$ или $NR = NH.\text{tang}\varphi$

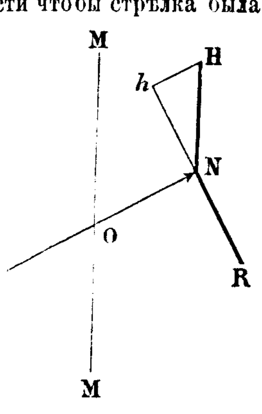
Назвавъ $NR = i$ (сила тока); $NH = H$ (гориз. составл. земнаго магнетизма) имѣемъ $i = H.\text{tang}\varphi$ *)

---

*) Тотъ же выводъ можно сдѣлать иначе, разсуждая такъ: Стрѣлка остается въ покоѣ, если направленіе равнодѣйствующей NL (какъ изображено на отдѣльной малой фигурѣ внизу чертежа) силъ NR и NH будетъ совпадать съ направленіемъ стрѣлки, такъ что уголъ $HNL = \varphi$. Но $LH : HN = i : H = \text{tang}\, HNL = \text{tang}\, \varphi$. Слѣд. $i = H.\ \text{tang}\, \varphi$.

Сила тока пропорціональна тангесу угла отклоненія стрѣлки. Показанія снаряда зависятъ отъ величины H, но, въ данномъ мѣстѣ наблюденія величину эту можно считать достаточно постоянною. Отъ степени намагниченія стрѣлки показанія не зависятъ, ибо если замѣнимъ данную стрѣлку другою, болѣе намагниченною, то обѣ силы i и H увеличатся въ одинакой пропорціи, и отношеніе ихъ останется то же самое.

Перейдемъ къ употребленію снаряда въ качествѣ синусъ-буссоли. Въ этомъ случаѣ нѣтъ надобности чтобы стрѣлка была короткая, ибо плоскость кольца приводятъ въ совпаденіе съ ея направленіемъ при новомъ ея положеніи. А именно какъ скоро стрѣлка отклонилась, плоскость кольца поворачиваютъ, слѣдуя за нею. При этомъ токъ огибающій кольцо продолжаетъ отклонять стрѣлку, но если онъ не очень силенъ, то кольцо догонитъ стрѣлку, и она останется въ равновѣсіи, вновь находясь въ плоскости кольца. При такомъ положеніи на конецъ N (фиг. 626) дѣйствуютъ двѣ силы: сила земли NH параллельно меридіану MM и сила тока NR перпендикулярно направленію стрѣлки (такъ какъ оно совпадаетъ съ плоскостію кольца). Условіе равновѣсія, очевидно, въ томъ чтобы слагающая Nh силы NH уравновѣшивались съ силою тока NR, то-есть чтобы $Nh = NR = i$.



Фиг. 626.

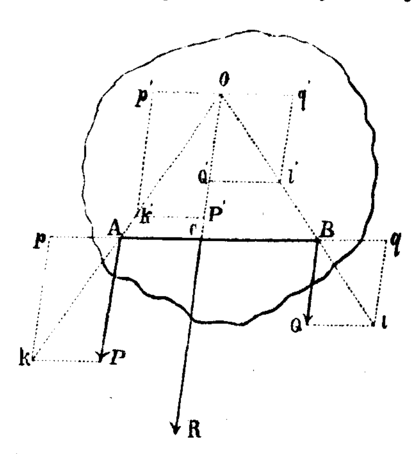
Но $Nh = NH.\cos HNh = H.\sin\varphi$. Слѣд. $i = H.\sin\varphi$.

Сила тока пропорціональна синусу угла отклоненія. Этотъ уголъ измѣряется помощію нижняго горизонтальнаго круга показывающаго на сколько градусовъ повернуто кольцо.

§ 427. Разрѣшеніе вопроса о сложеніи силъ параллельныхъ между собою, основанное на теоремѣ о параллелограммѣ силъ. Вообразимъ, что въ точкахъ A и B, гдѣ приложены силы P и Q (фиг. 627), мы приложили еще двѣ силы — одну q, другую p, равныя и противоположныя между собою. Такъ какъ двѣ эти силы, будучи равными, взаимно уничтожаются, то ихъ присутствіе ничего не измѣнитъ въ состояніи тѣла. Но въ такомъ случаѣ можно силы Q и q сложить въ одну силу, изображенную на чертежѣ линіею Bl и которую будемъ называть одною буквою l; точно также силы P и p можно сложить въ одну силу k.

Перенеся точки приложенія силъ k и l по направленію ихъ дѣйствія въ точку O, будемъ имѣть, вмѣсто параллельныхъ силъ P и Q, силы l' и k', дѣйствующія подъ угломъ. При точкѣ

O опять разложимъ каждую изъ силъ l' и k' на ихъ прежнія составляющія, которыя теперь означимъ буквами Q', q' и P', p'.



Фиг. 627.

Силы p' и q' при точкѣ O уничтожаются взаимно, и остаются двѣ силы P' и Q' дѣйствующія по одному направленію. Такимъ образомъ дѣйствіе данныхъ силъ P и Q можно замѣнить дѣйствіемъ равныхъ имъ силъ P' и Q', приложенныхъ къ одной точкѣ O, и дѣйствующихъ по одному направленію, параллельному направленію данныхъ силъ. Ихъ равнодѣйствующая равна ихъ суммѣ. Ея точку приложенія, находящуюся въ O, можно перенести въ C.

Легко видѣть что точка C должна удовлетворять условію:

$$P \,.\, AC = Q \,.\, BC.$$

Дѣйствительно, изъ подобія треугольниковъ $OP'k'$ и OCA имѣемъ:

$$\frac{OP}{OC} = \frac{P'k'}{AC} \text{ или } \frac{P'}{OC} = \frac{p'}{AC} \text{ . Слѣдов.}$$

$$P' \,.\, AC = p' \,.\, OC.$$

Изъ подобія треугольниковъ $OQ'l'$ и OCB имѣемъ:

$$\frac{OQ'}{OC} = \frac{Q'P'}{CB} \text{ или } \frac{Q'}{OC} = \frac{q'}{CB} \text{ . Слѣдов.}$$

$$Q' \,.\, CB = q' \,.\, OC.$$

Но $p' = q'$, слѣдовательно:

$$P' \,.\, AC = Q' \,.\, CB.$$

или, такъ какъ $\quad P' = P$ и $Q' = Q$

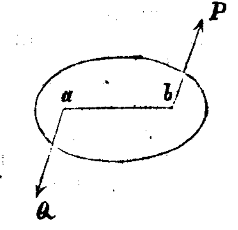
$$P \,.\, AC = Q \,.\, CB$$

что и требовалось доказать.

Если на тѣло дѣйствуетъ цѣлая система параллельныхъ силъ, то ихъ можно соединить въ одну равнодѣйствующую, равную, по величинѣ, ихъ суммѣ. Точка приложенія этой равнодѣйствующей имѣетъ любопытное свойство. Еслибы направленіе силъ измѣнилось, по отношенію къ тѣлу, но онѣ остались бы параллельными между собою и сохранили ту же величину, то новая равнодѣйствующая прошла бы чрезъ ту же точку какъ прежняя. Точка эта потому и называется *центромъ параллельныхъ силъ.*

Тяжесть дѣйствуетъ на частицы тѣла по направленіямъ которыя можно считать параллельными между собою. Величина равнодѣйствующей этихъ параллельныхъ силъ есть то что мы называемъ *вѣсомъ* тѣла. Точка приложенія этой равнодѣйствующей есть *центръ тяжести* тѣла. Центръ тяжести есть центръ параллельныхъ силъ и потому положеніе его относительно другихъ точекъ тѣла не мѣняется какъ бы мы ни помѣстили тѣло. Центръ тяжести имѣетъ въ данномъ тѣлѣ совершенно опредѣленное положеніе.

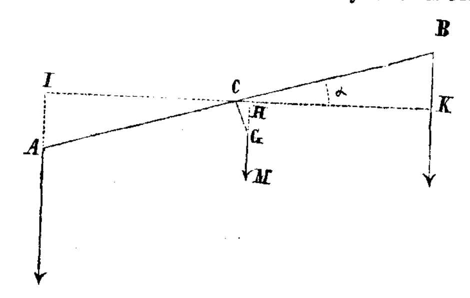
Присоединимъ еще, что двѣ силы, равныя, параллельныя, но направленныя (фиг. 628) въ разныя стороны, будучи приложены къ тѣлу, не могутъ быть уравновѣшены какою-нибудь третьею силою, слѣдов. не имѣютъ равнодѣйствующей. Такая система двухъ равныхъ силъ называется *парою силъ.* Къ парѣ силъ приводится, напримѣръ, дѣйствіе земли на магнитную стрѣлку.



Фиг. 628.

§ 428. Теорія чувствительности вѣсовъ. Коромысло вѣсовъ можно разсматривать, какъ *прямолинейный рычагъ* (фиг. 629). Этотъ рычагъ имѣетъ точку опоры въ C и на него дѣйствуютъ три силы: двѣ въ точкахъ A и B (вѣсъ грузовъ) и третья вѣсъ самаго коромысла, который можно разсматривать какъ силу приложенную въ точкѣ G, представляющій собою центръ тяжести коромысла.

Если грузы, дѣйствующіе на точки A и B не одинаковы, одинъ, напримѣръ, равняется P, другой $P+p$, то большая сила перетянетъ, и рычагъ наклонится въ ея сторону. Если разность грузовъ p не велика, то рычагъ устанавливается въ новомъ положеніи равновѣсія при которомъ силы P, $P+p$ и вѣсъ коромысла уравновѣшивается взаимно. Въ новомъ положеніи рычагъ дѣлаетъ съ горизонтомъ уголъ $BCK=\alpha$, ко-



Фиг. 629.

торый тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше разность вѣса p. Для одной и той же разности p уголъ отклоненія α на различныхъ вѣсахъ будетъ различенъ и величину этого угла можно принять за *мѣру чувствительности* вѣсовъ.

Не трудно вывести зависимость величины угла α отъ длины коромысла, его вѣса и отъ близости центра тяжести коромысла къ точкѣ опоры.

Сила P, дѣйствующая въ точкѣ B и равная ей часть силы дѣйствующей въ точкѣ A, даютъ равнодѣйствующую, проходящую чрезъ точку опоры C и уничтожающуюся сопротивленіемъ этой послѣдней. Такимъ образомъ условіе равновѣсія зависитъ отъ силы p, дѣйствующей на точку A и отъ вѣса коромысла, который приложенъ въ точкѣ G и котораго величину назовемъ M. Мы можемъ p и M разсматривать какъ силы дѣйствующія на ломаный рычагъ ACG. Перенеся точки приложенія этихъ силъ въ I и H, видимъ что условіе равновѣсія есть равенство моментовъ

$$p\,.\,CI=M\,.\,CH$$

Назвавъ длину плечъ рычага буквою l, разстояніе CG центра тяжести коромысла отъ точки опоры λ, видимъ, что

$$CH=\lambda\,.\sin\alpha;\quad CI=l\,.\cos\alpha,$$

отсюда

$$pl\,.\cos\alpha=M\lambda\,.\sin\alpha.$$

Или

$$\operatorname{tang}\alpha=\frac{pl}{M\lambda}\,.$$

Такъ какъ уголъ отклоненія α обыкновенно малъ, то можно тангесъ его считать пропорціональнымъ дугѣ и принять его за мѣру чувствительности. Слѣдов. *чувствительность прямо пропорціональна длинѣ коромысла, а обратно пропорціональна вѣсу коромысла и разстоянію его центра тяжести отъ точки опоры.* Вмѣстѣ съ тѣмъ видимъ, что она не зависитъ отъ абсолютной величины грузовъ, положенныхъ на чашки, ибо ихъ величина P не входитъ въ предыдущую формулу.

Не должно забывать, что при выводѣ этой формулы, кромѣ равенства плечъ, мы допустили еще что точки A, B, C *лежатъ на одной прямой линіи.* Еслибы точки A, B и C не лежали на одной прямой линіи, то условіе равновѣсія было бы сложнѣе и въ формулу, выражающую величину тангенса угла отклоненія, вошла бы величина P, и слѣдовательно чувствительность измѣнялась бы въ зависимости отъ величины грузовъ которыми обременены чашки вѣсовъ.

Ученіе о движеніи разсматриваемомъ независимо отъ производящихъ его силъ.

§ 429. Движеніе равномѣрное. Скорость въ движеніи этого рода. Движеніе тѣла называется *равномѣрнымъ* если это тѣло въ равные, произвольно выбранные, промежутки времени проходитъ равныя пространства Положимъ для примѣра, что нѣкоторое тѣло движется такъ, что во всякія двѣ секунды проходитъ по пяти метровъ. Его движеніе равномѣрно, если, проходя въ двѣ секунды по пяти метровъ, оно въ продолженіи одной секунды проходитъ $2^1/_2$ метра, въ пол-секунды $1^1/_4$ метра и т. д. Но если, проходя по пяти метровъ во всякія двѣ секунды, тѣло въ продолженіи этого промежутка времени движется неравномѣрно (напримѣръ, въ началѣ медленнѣе, потомъ быстрѣе, потомъ опять медленнѣе), то такое движеніе называется *періодическимъ*. Поэтому при опредѣленіи равномѣрнаго движенія мы прибавили, что тѣло проходитъ равныя пространства въ *равные, произвольно выбранные* промежутки времени.

Другими словами эту мысль можно выразить, сказавъ, что въ *равномѣрномъ движеніи пройденное про-*

странство возрастаетъ пропорціонально протекшему времени.

Скоростью въ движеніи равномѣрномъ называется пространство, проходимое тѣломъ въ *единицу* времени. Если одно тѣло проходитъ въ минуту 60 метровъ, а другая въ то же время 120 метровъ, то мы говоримъ, что скорость перваго вдвое менѣе скорости втораго.

Вообще, назвавъ пройденное пространство буквою e, время t и скорость v, можемъ выразить законъ равномѣрнаго движенія формулою

$$e = v \cdot t$$

изъ которой по даннымъ двумъ величинамъ всегда можно найти третью.

§ 429. Движеніе перемѣнное. Что значитъ скорость въ перемѣнномъ движеніи. Движеніе, въ которомъ пространство возрастаетъ не пропорціонально времени, называется *перемѣннымъ*. Можно вообразить безчисленное множество случаевъ перемѣннаго движенія.

Понятіе *скорость* въ перемѣнномъ движеніи имѣетъ другое значеніе, чѣмъ въ равномѣрномъ. Скорость перемѣннаго движенія не есть величина постоянная; потому здѣсь трактуется не объ общей скорости движенія, а о скорости соотвѣтствующей данной точкѣ пути или данному моменту движенія.

Общеупотребительный способъ выражать скорость движенія желѣзнодорожнаго поѣзда соотвѣтствующую данному моменту, даетъ ясное представленіе о томъ какъ понимается скорость въ перемѣнномъ движеніи. Мы говоримъ что поѣздъ въ данный моментъ ѣдетъ со скоростію 60 верстъ въ часъ, въ другой моментъ со скоростію 40 верстъ въ часъ и т. под. Это не значитъ что поѣздъ дѣйствительно цѣлый часъ двигался съ посто-

янною скоростію и прошелъ 60 или 40 верстъ. Скорость въ теченіе не только часа, но нѣсколькихъ минутъ могла измѣниться, но мы все-таки относимъ ее къ часу какъ избранной единицѣ времени, подразумѣвая что еслибы поѣздъ съ даннаго момента продолжалъ движеніе съ тою именно скоростію какую имѣлъ въ этотъ моментъ, то въ часъ прошелъ бы 60 или 40 верстъ. О величинѣ этой скорости заключаемъ такъ. Наблюдаемъ какое пространство проходитъ поѣздъ въ продолженіе времени весьма малаго сравнительно съ принятою единицею, напримѣръ, въ одну, полторы, двѣ минуты, и принимаемъ въ соображеніе что скорость поѣзда впродолженіе такого малаго времени замѣтно измѣниться не могла, и движеніе можно слѣдовательно разсматривать какъ равномѣрное. Но если тѣло въ одну шестидесятую долю часа проходитъ версту, то въ часъ прошло бы 60 верстъ; если въ одну шестидесятую оно проходитъ $^2/_3$ версты, то въ часъ прошло бы $^2/_3 : {}^1/_{60} = 40$ верстъ. То-есть, согласно закону равномѣрнаго движенія, скорость получается какъ частное отъ дѣленія пространства пройденнаго въ малое разсматриваемое время на величину этого времени. Въ строгомъ смыслѣ найденная такимъ пріемомъ скорость не есть истинная скорость соотвѣтствующая данному моменту, ибо и въ краткій разсматриваемый промежутокъ скорость могла нѣсколько измѣниться. Но чѣмъ менѣе возьмемъ промежутокъ, тѣмъ ближе подойдемъ къ величинѣ *истинной* скорости, которая и есть такимъ образомъ предѣлъ скорости опредѣленной чрезъ дѣленіе пространства пройденнаго въ малый промежутокъ времени на это время и именуемой *среднею* скоростію соотвѣтствующей этому промежутку. Если извѣстенъ законъ связывающій въ данномъ случаѣ проходимое пространство

и время, то этотъ предѣлъ можетъ быть опредѣленъ вычисленіемъ.

Представимъ себѣ, что все время движенія нашего тѣла раздѣлено на опредѣленные промежутки и для каждаго промежутка найдена соотвѣтствующая средняя скорость. Пусть нѣкоторое воображаемое тѣло начинаетъ движеніе въ одно время съ нашимъ и движется въ каждый промежутокъ времени со среднею скоростію, равною соотвѣтвѣтствующею этому промежутку, то такое тѣло должно встрѣчаться съ нашимъ въ началѣ и въ концѣ каждаго промежутка времени. Чѣмъ меньше мы вообразимъ эти промежутки, тѣмъ чаще будутъ происходить встрѣчи, и тѣмъ болѣе движеніе воображаемаго тѣла будетъ приближаться къ дѣйствительному движенію нашего тѣла. Движеніе нашего тѣла можно разсматривать какъ предѣлъ движенія состоящаго изъ ряда равномѣрныхъ движеній, непрерывно слѣдующихъ одно за другимъ. Другими словами эту мысль можно выразить такъ: всякое перемѣнное движеніе въ продолженіи очень краткаго времени можно разсматривать какъ равнвмѣрное.

Зная законъ движенія по отношенію къ проходимому пространству, можно вывести законъ измѣненія *средней скорости* впродолженіе движенія; вообразивъ же промежутки меньше и меньше, и переходя къ предѣлу, можно угадать законъ измѣненія самой истинной *скорости*. Формула, выражающая этотъ законъ, позволитъ для всякаго времени найти соотвѣтствующую скорость.

Предыдущее разсужденіе будетъ яснѣе въ приложеніи къ какому-нибудь частному случаю. Вообразимъ, напримѣръ, случай движенія въ которомъ пространство возрастаетъ пропорціонально квадрату времени (законъ паденія тѣлъ), такъ что, если въ продолженіе одной секунды движущаяся точка прошла пространство a, то пространство пройденное въ двѣ секунды будетъ $4a$, въ три секунды $9a$ и т. д. Вообще пространство e, пройденное впродолженіе времени t, будетъ во столько разъ болѣе или менѣе пространства a, пройденнаго въ одну секунду, во сколько t^2 болѣе или менѣе единицы. Слѣдовательно,

$$\frac{e}{a}=\frac{t^2}{1} \text{ или } e=at^2$$

Эта формула выражаетъ *законъ пространства* въ разсматриваемомъ случаѣ движенія, называемомъ *движеніемъ равномѣрно-ускореннымъ*.

Опредѣлимъ *среднюю скорость* для какого-нибудь промежутка времени τ. Пусть этотъ промежутокъ слѣдуетъ непосредственно послѣ конца времени t. Чтобы найти среднюю скорость, соотвѣтствующую этому промежутку τ, опредѣлимъ

во-первыхъ пространство, пройденное впродолженіе времени t. Оно будетъ at^2; затѣмъ найдемъ пространство пройденное впродолженіе времени $t+\tau$; оно будетъ $a(t+\tau)^2$. Разность этихъ величинъ представитъ пространство s, пройденное впродолженіе промежутка τ. Будемъ имѣть

$$s=a[t+\tau]^2-at^2=2at\tau+a\tau^2$$

Раздѣливъ это пространство на величину самаго времени τ, получимъ величину *средней скорости*, соотвѣтствующей промежутку времени τ:

$$\frac{s}{\tau}=2at+a\tau\ .$$

Эта формула показываетъ какъ средняя скорость измѣняется въ зависимости отъ времени. Другими словами она выражаетъ *законъ средней скорости*. Легко видѣть, что чѣмъ менѣе становится τ, тѣмъ менѣе будетъ членъ $a\tau$; и слѣдов. по мѣрѣ уменьшенія τ, предыдущее выраженіе болѣе и болѣе приближается къ величинѣ $2a\tau$, потому

$$\text{въ предѣлѣ } \frac{s}{\tau}=2at$$

Но предѣлъ выраженія $\frac{s}{\tau}$ есть то что мы назвали *скоростью* перемѣннаго движенія въ концѣ времени t. Итакъ эта скорость v выразится формулою

$$v=2at.$$

Слѣдовательно *скорость возрастаетъ пропорціонально времени*. Такимъ образомъ, зная пространство проходимое впродолженіе первой секунды движенія, мы можемъ, въ разсматриваемомъ нами случаѣ перемѣннаго движенія, опредѣлить не только пространство пройденное впродолженіе какого-нибудь времени t, но и скорость, соотвѣтствующующую концу этого времени. Если напр. пространство $a=5$ метрамъ, то скорость въ концѣ 3-й секунды будетъ $v=2.5.3=30$ м. скорость въ концѣ 6,3 секунды будетъ $v=2.5.6,3=63$ м.; Вмѣстѣ съ тѣмъ видимъ что скорость, соотвѣтствующая концу первой секунды есть $2a$ (ибо при $t=1$, $v=2a$); и слѣдовательно *вдвое болѣе пройденнаго впродолженіе первой секунды пространства*.

Назвавъ величину $2a$ одною буквою g, можемъ *формулы равномѣрно-ускореннаго движенія* написать слѣдующимъ образомъ:

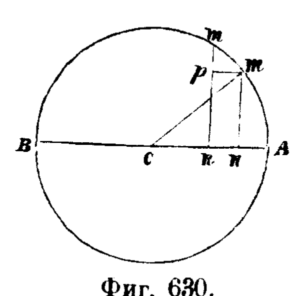
$$e=\frac{gt^2}{2}\ ,\ v=gt$$

Изъ формулы $v = gt$, полагая послѣдовательно $t = 1'', 2'', 3''$.... видимъ что скорость, пріобрѣтенная въ концѣ первой секунды, есть g, въ концѣ второй $2g$, третьей $3g$ и т. д. Слѣдовательно, *впродолженіе* второй секунды скорость получила приращеніе g (ибо изъ g сдѣлалось $2g$), впродолженіе третьей получила опять приращеніе g (ибо изъ $2g$ сдѣлалось $3g$) и т. д. Другими словами: въ разсматриваемомъ нами движеніи равнымъ промежуткамъ времени соотвѣтствуютъ равныя приращенія скорости. Отсюда названіе *равномѣрно-ускореннаго* движенія.

Приведемъ еще нѣсколько примѣровъ вывода закона скорости по данному закону пространства. Если законъ пространства выражается формулою: $e = t^2 - 3t + 2$, то законъ скорости выразится чрезъ $v = 2t - 3$. Въ случаѣ $e = nt^3$, законъ скорости будетъ $v = 3nt^2$.

Такъ какъ при наблюденіи движенія мы имѣемъ дѣло только съ пройденнымъ пространствомъ и временемъ, то можно спросить для чего вводится еще третье понятіе: *скорость*, которая прямо не дается наблюденіемъ, а опредѣляется чрезъ вычисленіе. Но кромѣ того, что изученіе скорости знакомитъ насъ подробнѣе съ свойствами даннаго движенія, понятіе скорость особенно важно потому что (какъ увидимъ въ послѣдствіи) дѣйствіе причины, производящей движеніе, именно обнаруживается измѣненіемъ скорости движущагося тѣла и измѣряется величиною этого измѣненія.

§ 430. Скорость въ движеніи гармоническомъ. Вообразимъ что нѣкоторое тѣло движется *равномѣрнымъ* движеніемъ по кругу со скоростію v_0. По мѣрѣ того какъ тѣло переходитъ, напримѣръ, отъ точки A (фиг. 630) послѣдовательно въ точки m, m и т. д., проложеніе его на діаметръ (опредѣляемое перпендикуляромъ опускаемымъ на діаметръ) движется по діаметру, переходя въ точки n, n и т. д. Когда тѣло пройдетъ полукругъ $AmmB$, проложеніе пройдетъ весь діаметръ отъ A до B; когда тѣло опишетъ нижній полукругъ, проложеніе возвратится по діаметру отъ B до A. Вообще каждому полному обороту тѣла соотвѣтствуетъ полное качаніе проложенія по діаметру взадъ и впередъ, подобное качанію маятника. Такое движеніе по діаметру именуется *гармоническимъ движеніемъ*. Опредѣлимъ скорость его въ разныхъ точкахъ пути; напримѣръ при точкѣ n. Представимъ себѣ очень малый промежутокъ времени τ впродолженіе котораго тѣло равномѣрнымъ движеніемъ по кругу проходитъ малую дугу mm. Проложеніе въ это время пройдетъ малую линію nn. Средняя скорость движенія проложенія будетъ $\frac{nn}{\tau}$. Но



Фиг. 630.

такъ какъ время τ очень мало, то дугу mm можно принять за прямую линію mm, совпадающую съ элементомъ касательной въ точкѣ m и слѣдов. перпендикулярную къ радіусу om. И это будетъ тѣмъ точнѣе, чѣмъ менѣе вообразимъ время τ. Но въ такомъ случаѣ

$$nn = mp = mm.\cos mmp = mm.\sin moA.$$

$$\text{Но } mm = v_0\tau;\quad \sin moA = \frac{mn}{mo}$$

Радіусъ mo назовемъ буквою R, перпендикуляръ mn (ордината) буквою y. Имѣемъ для выраженія скорости

$$v = \frac{nn}{\tau} = v_0 . \frac{y}{R}$$

Скорость проложенія, то-есть скорость гармоническаго движенія, измѣняется слѣд. *пропорціонально величинѣ ординаты y.*

Пусть T есть время полнаго оборота тѣла. Тогда $v_0 = \frac{2\pi R}{T}$. Назовемъ время впродолженіе котораго тѣло прошло отъ A до m буквою t. Такъ какъ движеніе равномѣрно, то

$$t : T = \text{дуга } Am : 2\pi R$$

Отсюда дуга $Am = 2\pi R.\frac{t}{T}$, дуга же единицы радіуса служащая мѣрою угла mcA будетъ $\frac{Am}{R} = 2\pi\frac{t}{T}$.

Итакъ $\sin mcA = \sin 2\pi\frac{t}{T}$ и слѣдов. скорость

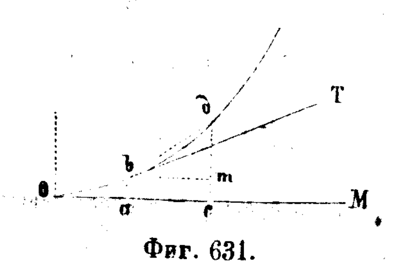
$$v = \frac{2\pi R}{T} . \sin 2\pi\frac{t}{T}$$

§ 431 Графическое изображеніе законовъ движенія помощію кривой пространствъ. Въ предыдущемъ разсужденіи мы выражали законы движенія помощію алгебраическихъ формулъ. Но есть еще другой, такъ-называемый *графическій* способъ для выраженія связи между зависящими одна отъ другой величинами. Если мы хотимъ графически изобразить связь между временемъ и пройденнымъ пространствомъ, то можемъ поступить слѣдующимъ образомъ. Условимся величиною горизонтальной линіи (линія абсциссъ) изображать время, и пусть Oa представляетъ продол-

жительность одной секунды (фиг. 631). Тогда время, равное 10 секундамъ, изобразится длиною, которая въ 10 разъ болѣе oa, и какая-нибудь линія OM будетъ изображать столько секундъ сколько разъ въ ней заключается линія Oa. Пусть вертикальныя линіи (ординаты) ab, cd, и т. д. изображаютъ пройденныя пространства, такъ что ab представляетъ пространство, пройденное впродолженіе времени Oa, cd впродолженіе Oc... Если законъ пространства данъ и слѣдовательно для каждаго времени знаемъ соотвѣтствующее пройденное пространство, то представимъ себѣ, что вершины всѣхъ вертикальныхъ линій соединены между собою. Получимъ линію Obd, называемую *кривою пространствъ*. Каждому случаю движенія соотвѣтствуетъ своя кривая пространствъ. Когда проходимое пространство возрастаетъ пропорціонально времени, то линія соединяющая вершины всѣхъ вертикальныхъ, будетъ *прямая*. Если пространство возрастаетъ пропорціонально квадрату времени, то получимъ кривую линію, называемую *параболой* (въ этой кривой линіи ординаты возрастаютъ пропорціонально квадрату абсциссъ).

При графическомъ изображеніи ясно видно какъ должно понимать выраженіе, что перемѣнное движеніе въ продолженіе очень малаго времени можно разсматривать какъ равномѣрное. Дѣйствительно, какова бы ни была кривая пространствъ, всегда малый элементъ ея можно разсматривать какъ прямую линію, а прямая линія, какъ сказано выше, выражаетъ законъ пространства въ случаѣ равномѣрнаго движенія.

Принявъ въ соображеніе что время изображается горизонтальною, пространство вертикальною линіей, легко доказать, что *скорость*, соотвѣтствующая концу какого-нибудь времени Oa (фиг. 631), выражается величиною тангенса угла кото-



Фиг. 631.

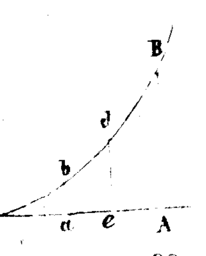
рый касательная линія bT, проведенная въ точкѣ b кривой, дѣлаетъ съ горизонтальною линіей OM. Дѣйствительно: такъ какъ ab выражаетъ пространство, пройденное во время Oa, cd пространство пройденное во время Oc, то dm представитъ пространство, пройденное въ продолженіи краткаго времени ac.

Раздѣливъ dm на ac, или на равную ей линію bm, получимъ среднюю скорость, соотвѣтствующую промежутку времени ac. Но извѣстно, что въ прямоугольномъ треугольникѣ частное отъ дѣленія одного катета на другой выражаетъ тангенсъ остраго угла, противолежащаго первому катету. Такимъ образомъ

$$\frac{dm}{bm} = \operatorname{tang} dbm$$

Чѣмъ меньше будетъ промежутокъ ac, чѣмъ слѣдов. ближе между собою будутъ находиться точка b и d, тѣмъ болѣе пересѣкающая линія bd будетъ приближаться къ касательной bT, и тангенсъ угла, который bd дѣлаетъ съ горизонтальною линіей, тѣмъ ближе будетъ къ тангенсу касательной. А такъ какъ tang dbm выражаетъ среднюю скорость, то tang Tbm будетъ выражать истинную скорость, которая есть предѣлъ средней скорости.

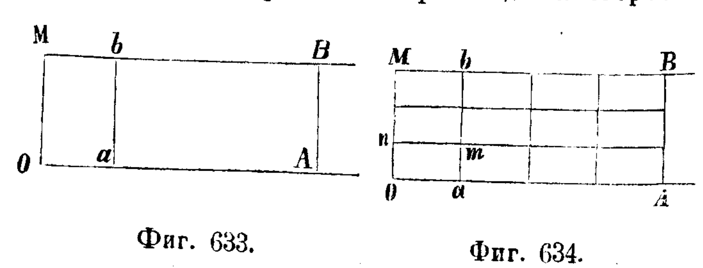
§ 432. Графическое изображеніе законовъ движенія помощію кривой скоростей. Допустимъ, какъ и прежде, что горизонтальная линія изображаетъ время, но помощію вертикальныхъ линій условимся изображать не пройденныя пространства, а скорости. Такимъ образомъ какая-нибудь вертикальная линія AB (фиг. 632) будетъ изображать не пространство, пройденное въ продолженіе времени OA, но ту скорость, какую имѣетъ движущаяся точка въ концѣ этого времени. Въ такомъ случаѣ кривая, проходящая чрезъ вершины ординатъ, будетъ *кривая скоростей*. Въ случаѣ движенія равномѣрнаго, такъ какъ въ немъ скорость есть величина постоянная во все время движенія, всѣ вертикальныя линіи должны быть равны между собою, и *законъ скоростей* изобразится *прямою линіей* (фиг. 633), параллельною линіи OA. Вертикальныя линіи ab, AB, равныя между собою, изобразятъ скорости.



Фиг. 632.

Хотя здѣсь на чертежѣ означены собственно толь-

ко величины времени и скорости, но чертежъ этотъ позволяетъ опредѣлить и пройденное пространство; только величина пространства обозначается здѣсь не длиною нѣкоторой линіи, а величиною площади. Дѣйствительно, мы знаемъ, что въ равномѣрномъ движеніи пространство равняется произведенію скорости



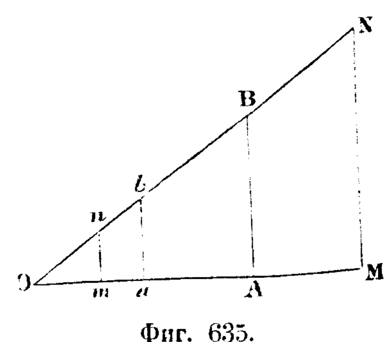
Фиг. 633. Фиг. 634.

на время. Потому, если хотимъ найти пространство, пройденное въ продолженіи времени OA равняющагося (фиг. 633) четыремъ единицамъ (допустимъ, что Oa изображаетъ величину единицы времени), то должны число 4 помножить на число единицъ длины какими выражается скорость, въ нашемъ случаѣ на 3 (полагая, что On изображаетъ единицу длины). Въ произведеніи получимъ 12. Но легко видѣть, что площадь $OMBA$ (фиг. 634) заключаетъ въ себѣ именно 12 такихъ прямоугольниковъ, какъ $Onma$. Другими словами въ графическомъ изображеніи закона равномѣрнаго движенія, когда абсциссы изображаютъ время, а ординаты скорость, пройденное пространство выражается величиною площади, построенной на этихъ линіяхъ, и измѣряемой числомъ заключающихся въ ней прямоугольниковъ, имѣющихъ основаніемъ линію помощію которой условлено представлять единицу времени, а высотою линію представляющую единицу длины какою измѣряется скорость.

Не разбивая площади $OMBA$ на прямоугольники, можно догадаться, что ея величина изображаетъ про-

ходимое пространство, припомнивъ теорему геометріи, что величина площади прямоугольника равняется произведенію основанія на высоту и принимая въ соображеніе что въ нашемъ случаѣ основаніе OA и высота AB представляютъ собою время и скорость, произведеніе которыхъ выражаетъ величину пройденнаго пространства. При этомъ, дабы было полное соотвѣтствіе съ теоремой геометріи, мы должны единицу времени и единицу длины изображать равными линіями (такъ чтобы фигуру можно было вообразить себѣ разбитою на квадраты, какъ при измѣреніи площадей).

§ 433. Галилеевъ выводъ, помощію графическаго пріема, закона пространства изъ закона скоростей въ равномѣрно-ускоренномъ движеніи. Галилей допустилъ что свободное паденіе тѣла въ пустотѣ есть случай равномѣрно-ускореннаго движенія, то-есть такого въ которомъ скорость движенія возрастаетъ постепенно, пропорціонально протекшему отъ начала движенія времени. Такимъ образомъ если прибѣгнемъ къ графическому способу и условимся длиною горизонтальной линіи (фиг. 635) изображать величину времени,

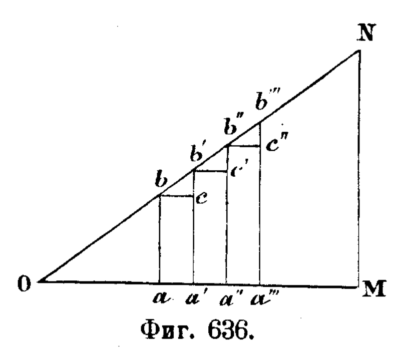


Фиг. 635.

считая начало при точкѣ O; величину же скорости какую имѣетъ тѣло въ концѣ времени означеннаго

какою-либо линіею OA условимся изображать соотвѣтствующею вертикальною линіею AB, то, согласно допущенному закону, скорость въ моментъ соотвѣтствующій половинѣ времени изображеннаго линіею OA, должна быть представлена вертикальною линіею ab равною $\frac{1}{2}$ AB; скорость соотвѣтствующая концу какого-нибудь времени изображеннаго линіею OM вертикальною MN во сколько разъ большею AB, во сколько OM болѣе OA. Вообще если мы проведемъ чрезъ точки O и A прямую линію, то величина скорости соотвѣтствующей каждой изъ точекъ m, a, A, M и т. д. линіи AM изображающей время представится длиною перпендикуляра возставленнаго изъ этой точки до пересѣченія съ линіею ON; ибо по свойству прямой линіи, $MN : AB : ab : nm... = OM : OA : Oa : Om...$, то-есть *скорость возрастаетъ пропорціонально времени* какъ и требуется согласно допущенному закону. Если условимся что линія OA изображаетъ единицу времени, напримѣръ секунду, и скорость AB въ концѣ этой первой секунды означимъ буквою g (какъ опредѣлить дѣйствительную величину этой скорости изъ наблюденія проходимаго тѣломъ пространства увидимъ ниже; пока будемъ разсуждать о ней какъ объ извѣстной). Въ такомъ случаѣ величина скорости $MN = v$ въ концѣ какого-нибудь времени $OM = t$ найдется изъ отношенія $MN : AB = OM : OA$ или $v : g = t : 1$, откуда $v = gt$ уравненіе выражающее законъ скорости въ равномѣрно-ускоренномъ движеніи.

На чертежѣ изображены скорости соотвѣтствующія разнымъ моментамъ движенія. Не трудно доказать что помощію того же чертежа можно опредѣлить и пространство проходимое тѣломъ впродолженіе опредѣленнаго времени. Величина проходимаго пространства сама собою обозначается на чертежѣ, но выражается не величиною нѣкоторой линіи, а величиною площади прямоугольнаго треугольника, которому катетами служатъ линіи изображающія на чертежѣ величины времени и скорости. Можно доказать что пространство пройденное впродолженіе времени означеннаго какою-нибудь линіею OM выразится величиною площади OMN. Чтобы доказать это важное положеніе, вообразимъ случай движенія не совсѣмъ такой какъ разсматриваемый нами, но весьма къ нему близкій. Раздѣлимъ мысленно время на очень малые промежутки и допустимъ что скорость движенія тѣла воз-



Фиг. 636.

растаетъ не непрерывно какъ мы предполагали, а получаетъ малыя постоянныя приращенія въ самомъ концѣ каждаго изъ промежутковъ, оставаясь впродолженіе промежутка постоянною, такъ что движеніе тѣла можно разсматривать какъ состоящее изъ равномѣрныхъ движеній. Но, согласно предыдущему параграфу, величина проходимаго равномѣрнымъ движеніемъ пространства выражается площадью прямоугольника основаніе котораго есть линія изображающая время, высота линія изображающая скорость. Потому, если линія aa' изображаетъ (фиг. 636) одинъ изъ упомянутыхъ промежутковъ времени, ab скорость въ теченіе этого промежутка, то площадь $abca'$ изобразитъ величину пройденнаго въ этотъ промежутокъ пространства. Въ концѣ промежутка скорость получаетъ приращеніе и становится равною

ною $a'b'$. Пространство пройденное во второй промежутокъ будетъ $a'b'c'a''$; въ третій $a''b''c''a'''$ и т. д. Совокупность этихъ пространствъ, то-есть пространство пройденное въ опредѣленное время напримѣръ OM выразится площадью фигуры ограниченной снизу линіею OM, сверху лѣстницеобразною линіею часть которой изображена на чертежѣ. Чѣмъ менѣе вообразимъ себѣ промежутки времени, тѣмъ болѣе воображаемое нами движеніе приблизится къ случаю равномѣрно-ускореннаго движенія въ которомъ скорость возрастаетъ непрерывно и притомъ во всякій моментъ одинаковымъ образомъ. Въ графическомъ изображеніи тѣмъ менѣе будутъ становиться уступы лѣстницеобразной линіи которая въ предѣлѣ обратится въ прямую линію ON, такъ что площадь треугольника NOM и выразитъ слѣдовательно пространство проходимое тѣломъ движущимся равномѣрно-ускореннымъ движеніемъ и пріобрѣтающимъ въ теченіе времени OM скорость MN. Если (фиг. 635) OA изображаетъ единицу времени,—секунду, то площадь OBA выразитъ пространство пройденное въ первую секунду. Величина площади треугольника равняется произведенію основанія на половину высоты; слѣдов. площадь $OBA = OA \,.\, {}^1/_2\, AB = {}^1/_2\, g$. *Скорость пріобрѣтаемая въ концѣ первой секунды движенія равняется двойному пройденному въ эту секунду пространству.* Такимъ образомъ, измѣривъ пройденное пространство, находимъ величину скорости. Мы говорили о пространствѣ пройденномъ въ первую единицу времени. Не трудно выразить формулою пространство e пройденное вообще во время t. Пространство это, если примемъ линію $OM = t$, выразится площадью OMN. Площадь $OMN = e = OM \,.\, {}^1/_2\, MN = t \,.\, {}^1/_2\, v$ такъ какъ $MN = v$. Но $v = gt$ слѣдов.

$$e = \frac{gt^2}{2}$$

Пространство возрастаетъ пропорціонально квадрату времени.

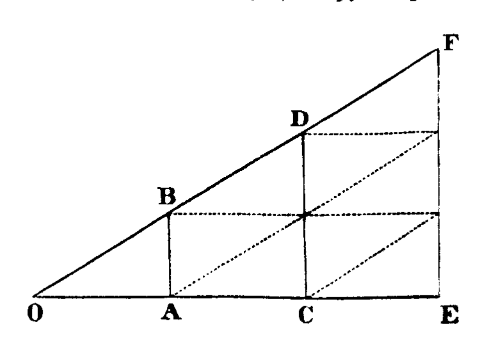
Такимъ образомъ пространства, пройденныя впродолженіе одной, двухъ, трехъ, четырехъ и такъ далѣе секундъ, считая съ начала движенія, суть:

$$\frac{g}{2},\quad 4\,\frac{g}{2},\quad 9\,\frac{g}{2},\ 16\,\frac{g}{2},\ \text{и т. д.}$$

Если впродолженіе двухъ секундъ пройдено $4\,\frac{g}{2}$, въ одну *первую* секунду $\frac{g}{2}$, то значитъ впродолженіе *второй* секунды было пройдено $3\,\frac{g}{2}$. Впродолженіе трехъ секундъ пройдено $9\,\frac{g}{2}$, а впродолженіе первыхъ двухъ $4\,\frac{g}{2}$, слѣдов. впродолженіе одной *третьей* пройдено $5\frac{g}{2}$ и такъ далѣе. Вообще, последовательно, впродолженіе первой, второй, третьей, четвертой и т. д. секунды проходятся пространства:

$$\frac{g}{2},\quad 3\,\frac{g}{2},\quad 5\,\frac{g}{2},\quad 7\,\frac{g}{2}$$

пространства проходимыя послѣдовательно въ первую, вторую, третью и т. д. единицы времени относятся между собою какъ рядъ нечетныхъ чиселъ. Это видно на чертежѣ (фиг. 637) гдѣ площади OBA, $ABDC$, $CDFE$ изображаютъ величины пространствъ пройденныхъ въ первую, вторую, третью секунды.



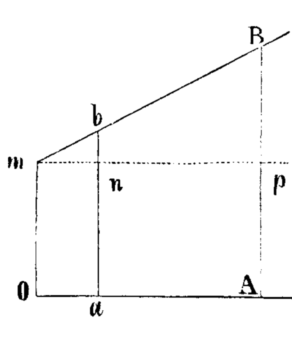
Фиг. 637.

3) При $t=1''$ имѣемъ $v=g$ и $e=\frac{g}{2}$, то-есть, какъ уже было сказано, скорость пріобрѣтенная въ концѣ первой секунды, вдвое болѣе пройденнаго въ эту секунду пространства.

4) Опредѣливъ изъ перваго уравненія t и вставивъ во второе, получимъ

$$v=\sqrt{2eg},$$

формула, показывающая свясь между скоростью и пройденнымъ пространствомъ.



Фиг. 638.

Если первоначальная скорость не равна нулю, то для вывода формулъ движенія должно обратиться къ фиг. 638. Положивъ начальную скорость Om равною v_0, видимъ, что скорость v, соотвѣтствующая концу времени t и изображаемая на чертежѣ линіей AB (время равное единицѣ пусть есть Oa), будетъ

$$v=AB=Ap+Bp$$

или

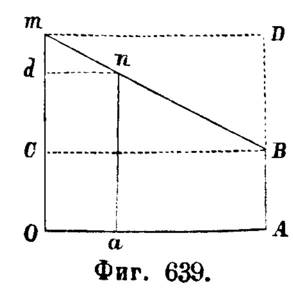
$$v=v_0+gt,$$

ибо $Ap=v_0$; Bp получается изъ пропорціи $\frac{Bp}{bn}=\frac{mp}{mn}$

гдѣ $bn=g$, $mp=t, mn=1$, и слѣдов. $Bp=gt$.

Пространство e, пройденное впродолженіе времени t, изображается площадью $OABm$, состоящею изъ четвероугольника $OAmp$ и треугольника mpB, и выразится формулою

$$e=v_0\,t+\frac{gt^2}{2}$$



Фиг. 639.

Если скорость вмѣсто того, чтобы возрастать, уменьшается равномѣрно, начиная съ величины v_0, то понятно что законъ такого движенія, называемаго *равномѣрно-замедленнымъ*, изобразится графически, какъ представлено на фиг. 639. Здѣсь $Om=v_0$ изображаетъ начальную скорость; $AB=v$ скорость въ концѣ времени $OA=t$. Назвавъ линію md, изображающую

уменьшеніе скорости въ продолженіе времени Oa, равнаго единицѣ (впродолженіе секунды), буквою g, будемъ имѣть

$$v=v_0-gt.$$

ибо $AB=Om-mC$, гдѣ $Om=v_0$; $mC=gt$, такъ какъ

$$\frac{mC}{md}=\frac{CB}{dn},$$ гдѣ $md=g$. $CB=t$. $nd=1$

Площадь $OABm$, выражающую пройденное пространство e, можно разсматривать, какъ разность площади четвероугольника $OADm$ безъ треугольника BDm. Легко видѣть, что

$$OABm=Om.\ OA-\tfrac{1}{2}mD\ .\ BD,$$ гдѣ $Om=v_0$;

$$OA=mD=t;\ BD=gt,$$

слѣдовательно

$$e=v_0t-\frac{gt^2}{2}$$

§ 434. Скорость охлажденія. Поправка относительно дѣйствія окружающей среды при опредѣленіи удѣльной теплоты. Въ заключеніе настоящей главы остановимъ вниманіе на одномъ понятіи изъ другой совсѣмъ области физики, но имѣющемъ близкую аналогію съ тѣмъ что называется скоростію въ перемѣнномъ движеніи. Мы говоримъ о такъ-называемой *скорости охлажденія*, понятіи встрѣчающемся въ разсужденіяхъ о быстротѣ пониженія температуры охлаждающагося тѣла. Пониженіе это можетъ происходить быстрѣе или медленнѣе: отсюда понятіе о *скорости охлажденія*. Скорость эта, какъ показываетъ опытъ зависитъ отъ избытка температуры тѣла надъ температурою окружающею пространства и тѣмъ значительнѣе чѣмъ болѣе этотъ избытокъ. Такъ, напримѣръ, въ одномъ изъ опытовъ Дюлонга и Пти (занимавшихся внимательнымъ изслѣдованіемъ законовъ охлажденія тѣлъ) находимъ слѣдующія данныя относящіяся къ случаю тѣла охлаждавшагося въ замкнутомъ пространствѣ и представлявшаго собою родъ большаго термометра.

Время.	Избытокъ температуры тѣла надъ температурою окружающаго пространства.
0	38°
2′ 38″	36
5 26	34
8 23	32
11 32	30
14 53	28
18 31	26
22 25	24
26 41	22
31 18	20

Еслибы мы изобразили время горизонтальною линіею, а соотвѣтствующіе избытки температуръ вертикальными линіями, то получили бы кривую которая выражала бы законъ охлажденія подобно тому какъ фиг. 631 изображаетъ законъ пространствъ въ случаѣ нѣкотораго перемѣннаго движенія. Мы найдемъ *среднюю скорость* охлажденія, если пониженіе температуры впродолженіе малаго времени раздѣлимъ на величину этого времени. Такимъ образомъ средняя скорость (отнесенная къ секундѣ времени) въ началѣ опыта, то-есть въ промежуткѣ времени отъ 0′ до 2′38″ (или 158″) будетъ $2^\circ : 158 = 0^\circ,013$; скорость въ концѣ опыта, то-есть отъ 26′41 до 31′18″ будетъ $2 : 317 = 0^\circ,0063$; скорость въ промежуткѣ отъ 14′53″ до 18′31″ будетъ $2' : 258 = 0,0077$. Видимъ что приблизительно скорость охлажденія можно считать пропорціональною избытку температуры охлаждающагося тѣла надъ температурою окружающаго пространства (законъ Ньютона точный въ случаѣ малыхъ избытковъ).

Съ измѣреніемъ скорости охлажденія мы встрѣчаемся между прочимъ при опредѣленіи удѣльной теплоты по способу смѣшенія (§§ 176, 177). Чтобы найти величину поправки происходящей отъ вліянія температуры среды окружающей калориметръ, наблюдаютъ, въ теченіе нѣсколькихъ минутъ до погруженія тѣлъ и потомъ послѣ того какъ установилось равновѣсіе температуры между погруженнымъ тѣломъ и водою калориметра—показанія термометра погруженнаго въ воду, сравнивая эти показанія съ показаніями термометра указывающаго температуру окружающаго воздуха. На отдѣльномъ примѣрѣ удобнѣе всего указать какъ вообще располагается опытъ и вычисляется величина поправки. Имѣемъ, напримѣръ, кусокъ известковаго шпата вѣсъ котораго $m = 119,86$ граммамъ; пускай величина $M + m'c$ (то-есть приведенный къ водѣ вѣсъ километра по § 176 стр. 232) $= 454,116$ граммовъ; температура T шпата въ моментъ погруженія $= 99^\circ,56$. Термометръ опущенный въ воду калориметра показывалъ послѣдовательно впродолженіе десяти минутъ пока продолжался опытъ (погруженіе произошло между 3 и 4 минутой) слѣдующія температуры:

0′	3°,47	
3′	3°,50	разность=0°,03; слѣд. въ 1 минуту калориметръ пріобрѣталъ 0°,01.
4	8°,38	
5	8,54	
6	8,52	
7	8°,49 = t	
10	8°,39	разность 0°,1; слѣд, въ 1′ калорим. терялъ 0°,033...

Видимъ что повышеніе температуры калориметра (величина $t - \theta$ формулы) есть $8^\circ,49 - 3^\circ,50 = 4^\circ,99$. Но это число должно

быть поправлено во-первыхъ потому что въ промежуткѣ отъ 4 до 7 минутъ температура калориметра была выше окружающей среды и онъ терялъ теплоту. Опытъ послѣднихъ трехъ минутъ показываетъ, что при той температурѣ какую имѣлъ калориметръ теряется приблизительно 0°,033 въ минуту; слѣд. впродолженіе трехъ минутъ, отъ 4 до 7, утрачено 0°,1. Далѣе, погруженіе произошло не при самомъ концѣ 3-й минуты, а, можно допустить, въ срединѣ между 3 и 4 минутами. При температурѣ же какую калориметръ имѣлъ до погруженія онъ пріобрѣталъ въ 1′ по 0°,01; слѣдов. въ ½ минуты пріобрѣлъ 0,005 (температура предъ погруженіемъ была слѣд. не 3°,5, а 3°,505). Во вторую половину промежутка между 3 и 4 минутами тѣло погружено, и температура подымается. Если бы температура мгновенно возрасла до 8°,38 какою она оказалась въ концѣ 4-й минуты, то поправка относительно второй половины была бы ½.0,033. Но такъ какъ возрастаніе было постепенное, то величина эта слишкомъ велика и какъ Реньйо убѣдился изъ особыхъ опытовъ, истинная поправка въ подобныхъ случаяхъ должна составлять около двухъ третей величины опредѣленной въ предположеніи мгновеннаго возрастанія температуры. Она будетъ слѣдов. $\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,003 = 0,001$. Такимъ образомъ поправленная величина повышенія температуры калориметра $t - \theta$ будетъ $= 4^\circ,99 + 0^\circ,1 - 0^\circ,005 + 0^\circ,001 = 5^\circ,106$. Имѣемъ всѣ данныя для рѣшенія уравненія страницы 232-й:

$$mx\,(T - t) = (M + m'c)\,(t - \theta)$$

гдѣ $T - t = 91^\circ,07$; $M + m'c = 454,116$; $t - \theta = 5^\circ,106$.

Отсюда $mx = 25,461$. Но не должно забыть что шпатъ опускался въ воду въ карзиночкѣ изъ очень тонкой мѣдной проволоки, вѣсъ которой былъ $m_1 = 9,732$ грамма, удѣльная теплота $c_1 = 0,094$, а слѣд. приведенный къ водѣ вѣсъ $m_1 c_1 = 0,915$. Опытъ показалъ, впрочемъ, Реньйо что для практическаго приложенія эта величина должна быть уменьшена ибо корзиночка нѣсколько успѣваетъ охлаждаться на пути отъ нагрѣвающаго канала до калориметра. Основываясь на опытахъ съ кускомъ свинца опускавшемся въ калориметръ то безъ корзиночки, то въ корзиночкѣ, Реньйо убѣдился что за приведенный къ водѣ вѣсъ $m_1 c_1$ корзиночки служившей въ его опытахъ должно принять $m_1 c_1 = 0,732$ грамма. Принимая во вниманіе участіе корзиночки отдающей теплоту какъ и шпатъ, мы должны предыдущую формулу написать такъ:

$$(mx + m_1 c_1)\,(T - t) = (M + m'c)\,(t - \theta)$$

Слѣдов. полученная выше величина 25,461 грам. есть не mx, а сумма $mx + m_1 c_1$. Чтобы получить mx должно изъ 25,461 вычесть 0,732. Итакъ $mx = 24,729$; отсюда, такъ какъ $m = 119,86$, удѣльная теплота известковаго шпата $x = 0,2063$.

Законы движенія въ природѣ. Ученіе о измѣреніи силъ.

§ 435. Законы движенія. Понятіе о силѣ. Въ первомъ отдѣлѣ мы уже видѣли, что этихъ законовъ три:

1) *Законъ косности или инерціи.*
2) *Законъ относительнаго движенія.*
3) *Законъ дѣйствія равнаго противодѣйствію.*

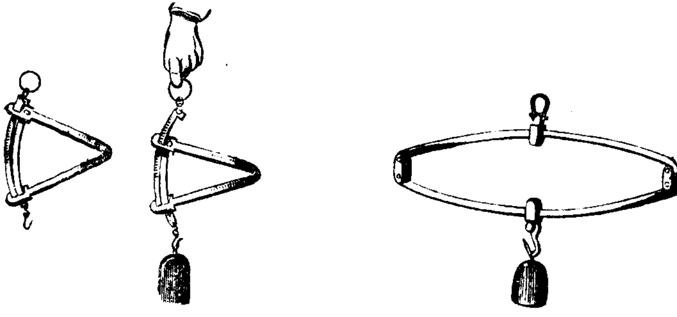
Согласно первому закону, тѣло само, безъ дѣйствія на него какой-либо причины, не можетъ придти въ движеніе или измѣнить движеніе какое имѣетъ.

Тѣло можетъ придти въ движеніе отъ различныхъ причинъ: оттого что мы переносимъ его рукою, оттого что къ нему привязана нить, за которую мы его тянемъ, оттого что его увлекаетъ потокъ, оттого что его притягиваетъ другое тѣло и т. д. Вообще причины способныя привести тѣло въ движеніе или измѣнить движеніе, какое оно имѣетъ, называются *силами*.

Не смотря на то что на тѣло дѣйствуетъ причина стремящаяся привести его въ движеніе, оно можетъ остаться въ покоѣ, если дѣйствіе этой причины уничтожается дѣйствіемъ другой или сопротивленіемъ какого-нибудь неподвижнаго препятствія. Такого рода покой называется состояніемъ *равновѣсія*. Нѣкоторые вопросы о равновѣсіи мы разсматривали въ предыдущей главѣ. Часть механики трактующая о равновѣсіи называется *статикою*, трактующая о движеніи *динамикою*.

Очевидно, что дѣйствіе силы на точку гдѣ она приложена можетъ состоять въ томъ, что сила стремится перемѣстить эту точку по опредѣленному направленію. Прямая линія, изображающая это направленіе, представляетъ *направленіе* силы. Самое дѣйствіе мы можемъ представить въ двухъ формахъ: сила *тянетъ* точку по своему направленію или *толкаетъ* ее по этому направленію. Поэтому, когда хотимъ нагляднѣе представить дѣйствіе силы, можемъ употреблять какую-нибудь изъ этихъ формъ.

§ 436. Статическое измѣреніе силъ. Статически силы измѣряются по производимому ими *натяженію* или *давленію*. Пусть сила, величину которой хотимъ измѣрить, есть *вѣсъ* даннаго тѣла. Можно для этой цѣли воспользоваться инструментомъ, изображеннымъ на фиг. 640. Онъ состоитъ изъ упругой стальной полоски, согнутой угломъ. На концѣ дуги, придѣланной



Фиг. 640. Фиг. 641.

въ верхней сторонѣ угла и свободно проходящей чрезъ прорѣзъ въ краѣ нижней стороны, находится крючокъ, на который можно повѣсить тѣло, если желаемъ измѣрить *натяженіе* производимое его вѣсомъ. Кольцо, находящееся на концѣ дуги, которая прикрѣплена къ нижней сторонѣ угла и свободно проходитъ чрезъ оставленный для нея прорѣзъ въ верхней, можетъ быть прикрѣплено къ неподвижному препятствію. Вѣсъ тѣла тянетъ крючокъ внизъ, и вслѣдствіе того стороны угла сближаются между собою. Онѣ опять удаляются одна отъ другой, когда не будетъ болѣе натяженія. По уменьшенію угла, измѣряемаго помощію упомянутыхъ дугъ, можно судить о величинѣ силы, которая тянетъ тѣло внизъ. Этотъ инструментъ и вообще инструменты, служащіе для измѣренія силъ по производимому ими натяженію, называются *динамометрами*. Фиг. 641 изображаетъ одну изъ употребительныхъ формъ снарядовъ этого рода.

Если натяженіе, измѣряемое динамометромъ, производится не вѣсомъ, но какою-нибудь другою силою, то величину этой послѣдней мы можемъ выразить помощію вѣса, условившись натяженіе производимое единицею вѣса, килограммомъ, считать единицею для измѣренія силъ. Пусть, напримѣръ, тѣло, привѣшенное къ нашему инструменту, есть кусокъ желѣза. Приблизивъ къ нему магнитъ, мы замѣтимъ, что стальная полоса, согнутая уже вѣсомъ тѣла, согнется еще болѣе вслѣдствіе увеличенія натяженія, которое произойдетъ отъ притяженія магнита. Но точно такое же увеличеніе натяженія мы могли бы произвести, присоединяя къ нашему тѣлу какой-нибудь опредѣленный вѣсъ. Такимъ образомъ сила магнитнаго притяженія въ этомъ случаѣ производитъ такое же приращеніе натяженія, какъ этотъ вѣсъ; слѣдовательно, ея величина равна величинѣ этого вѣса и можетъ быть выражена числомъ килограммовъ, заключающихся въ немъ. Если прикрѣпимъ одинъ конецъ инструмента къ какому-нибудь неподвижному препятствію, а другой, помощію веревки, станемъ тянуть рукою, то можно опредѣлить и выразить въ килограммахъ величину натяженія какое мы можемъ произвести силою своихъ мускуловъ. Присоединяя одинъ конецъ динамометра помощію веревки къ экипажу, а другой такимъ же образомъ къ сбруѣ лошади, можно выразить въ килограммахъ величину силы съ какою лошадь тянетъ экипажъ и т. д.

§ 437. Движеніе происходящее отъ силы дѣйствующей по его направленію. Понятіе о постоянной силѣ. Если тѣло, на которое по опредѣленному направленію дѣйствуетъ сила, ничѣмъ не удерживается, то оно приходитъ въ движеніе. Представимъ себѣ простѣйшій случай, когда все тѣло можно разсматривать какъ *одну матеріяльную точку*. Очевидно, что такая точка, повинуясь силѣ, дѣйствующей по опредѣленному, не-

измѣняющемуся направленію, будетъ двигаться по линіи, изображающей направленіе силы.

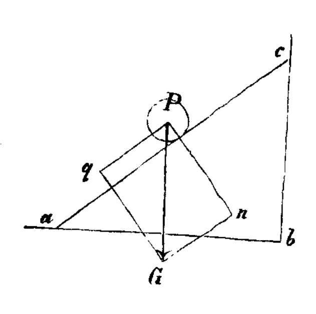
Движеніе этого тѣла не можетъ быть равномѣрнымъ, ибо, на основаніи закона косности, равномѣрность движенія есть признакъ что на тѣло не дѣйствуетъ никакая причина, способная измѣнить его движеніе, или сила. Очевидно, что во все время пока по направленію движенія дѣйствуетъ на тѣло сила, это движеніе *ускоряется*. Еслибы въ какой-нибудь точкѣ пути дѣйствіе силы прекратилось, то тѣло, предоставленное самому себѣ, продолжало бы двигаться, но движеніе, начиная съ момента прекращенія силы, сдѣлалось бы равномѣрнымъ съ тою скоростію какую тѣло успѣло пріобрѣсть до момента прекращенія дѣйствія силы.

Сила которой величина не измѣняется во все время ея дѣйствія на тѣло называется силою постоянною. Если, помѣстивъ тѣло въ различныхъ точкахъ пути, который ему предстоитъ описать отъ дѣйствія нѣкоторой силы p, опредѣлимъ натяженіе испытываемое въ каждомъ положеніи нитью удерживающею тѣло и найдемъ что натяженіе это остается одинаковымъ во всѣхъ точкахъ пути, то мы въ правѣ заключить что величина силы не измѣняется въ разныхъ точкахъ пути, и она есть слѣдов. *постоянная*. Вѣсъ тѣла подходитъ подъ это условіе неизмѣняемости величины дѣйствующей силы. Гдѣ бы на протяженіи отвѣсной линіи по какой происходитъ паденіе мы ни помѣстили тѣло, держа его на нити, всюду направленіе нити будетъ одинаково, и натяженіе, испытываемое ею, постоянно. Мы заключаемъ, что въ разсматриваемомъ случаѣ сила (вѣсъ) во все продолженіе движенія не измѣняетъ своего направленія и сохраняетъ постоянную величину.

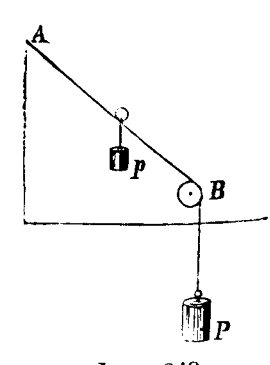
Перейдемъ къ вопросу о *динамическомъ* измѣреніи силъ, по производимому ими движенію. Какое движе-

ніе производитъ сила данной величины? Чѣмъ различается движеніе сообщаемое тѣлу данною силою отъ движенія сообщаемаго силою, которая вдвое, втрое и т. д. болѣе первой? Какое движеніе производитъ сила данной величины, дѣйствуя на различныя тѣла? Вотъ вопросы которыми намъ предстоитъ заняться.

§ 438. Движеніе отъ дѣйствія по его направленію постоянной силы есть равномѣрно-ускоренное. Это положеніе можно оправдать, изучая движеніе падающаго тѣла, такъ какъ паденіе есть случай движенія отъ дѣйствія постоянной силы, каковою въ этомъ случаѣ служитъ вѣсъ тѣла. Но паденіе по вертикальному направленію слишкомъ быстро для того чтобы съ точностію изучать явленіе. Удобнѣе прибѣгнуть къ случаю паденія по наклонной плоскости. Сила Pq заставляющая (фиг. 642) тѣло катиться по склону ca имѣетъ постоянную величину на всемъ протяженіи движенія, но такъ какъ она менѣе полнаго вѣса PG, то движеніе про-



Фиг. 642.



Фиг. 643.

исходитъ медленнѣе чѣмъ при вертикальномъ паденіи. Въ § 12 мы видѣли уже какъ Галилей показалъ, что при паденіи по наклонной плоскости проходимыя тѣломъ пространства пропорціональны квадратамъ времени, откуда какъ слѣдствіе вытекаетъ, что ско-

рость возрастаетъ пропорціонально времени. Движеніе есть слѣдов. равномѣрно-ускоренное.

Для опытовъ съ паденіемъ по наклонной линіи можно пользоваться металлической проволокою укрѣпленной однимъ концемъ въ стѣнѣ, тогда какъ другой конецъ B (фиг. 643) туго натягивается грузомъ P. Падающая гирька p прикрѣпляется къ маленькому блоку, катящемуся внизъ.

§ 439. Производимое силою ускореніе пропорціонально ея величинѣ. Измѣняя уголъ наклонной линіи, можно измѣнить величину силы, дѣйствующей на тѣло по направленію движенія. Пусть p есть сила, производящая движеніе при опредѣленномъ наклонѣ. Сдѣлаемъ наклонъ круче на столько, чтобы величина дѣйствующей силы удвоилась и сдѣлалась $2p$. Тогда, если пройденное въ первую секунду пространство въ первомъ опытѣ было a, то во второмъ оно будетъ $2a$. Еслибы сила была $3p$, то пройденное пространство было бы $3a$ и т. д.

Итакъ: *проходимое тѣломъ въ первую секунду пространство, а слѣд. и пріобрѣтаемая въ концѣ этой секунды скорость* (въ равномѣрно-ускоренномъ движеніи она равна двойному пройденному пространству) *пропорціональны величинѣ дѣйствующей силы.* Потому какъ пространство, такъ и пріобрѣтенная скорость одинаково могутъ служить *мѣрою силы.*

Условлено принимать за мѣру силы *пріобрѣтаемую тѣломъ скорость* на томъ основаніи, что эта мѣра, какъ легко видѣть, одинаково приложима, какъ къ тѣлу, начинающему двигаться, такъ и къ тѣлу, *уже находящемуся въ движеніи.*

Дѣйствительно, тѣло къ концу первой секунды пріобрѣтаетъ скорость g, сила продолжаетъ дѣйствовать, и скорость въ концѣ второй секунды становится $2g$, слѣдовательно получается приращеніе скорости равное g; въ продолженіе третьей секунды вслѣдствіе

дѣйствія силы получается новое приращеніе g, такъ что къ концу третьей секунды скорость становится $3g$ и т. д.

Такимъ образомъ приращеніе скорости впродолженіе секунды, называемое *ускореніемъ*, одинаково, находится ли тѣло въ тотъ моментъ, съ котораго начинаемъ разсматривать дѣйствіе силы, въ покоѣ, или уже имѣетъ какую-нибудь скорость. Другими словами, если тѣло въ опредѣленный моментъ имѣетъ скорость v_0 и въ продолженіи секунды, начиная съ этого момента, на него дѣйствуетъ по направленію движенія постоянная сила, то это тѣло въ концѣ секунды будетъ имѣть скорость

$$v_0 + g,$$

гдѣ g ускореніе, какое сила произвела бы, дѣйствуя на тѣло безъ начальной скорости.

Это есть одно изъ слѣдствій втораго закона движенія, согласно которому сила одинаково дѣйствуетъ на тѣло, находится ли оно въ покоѣ, или движется.

Итакъ въ окончательномъ результатѣ мы приходимъ къ тому, что для сравненія силъ между собою мы должны сравнивать или производимыя ими *натяженія*, или *ускоренія* какія они производятъ, дѣйствуя на *одно и то же тѣло*, по направленію движенія. Сила двойная, т.-е. производящая *двойное* натяженіе, производитъ *двойное* ускореніе сравнительно съ простою силою, сила втрое большая производитъ и ускореніе втрое большее и т. д.

Представимъ себѣ вертикальную линію AB и нѣсколько наклонныхъ AC AD, AE... Пусть нѣкоторое тѣло вѣса p начинаетъ движеніе съ точки A. Назовемъ буквою g ускореніе пріобрѣтаемое эттимъ тѣломъ, въ случаѣ если оно свободно падаетъ по вертикальной линіи $AB=h$. Въ этомъ случаѣ на него дѣйствуетъ вся сила p. Если тоже тѣло движется по наклонной линіи $AC=l$, то не весь вѣсъ p дѣйствуетъ по на-

правленію движенія, а его часть, именно $p \cdot \frac{h}{l}$ и слѣдовательно ускореніе G при движеніи по AC найдется изъ отношенія

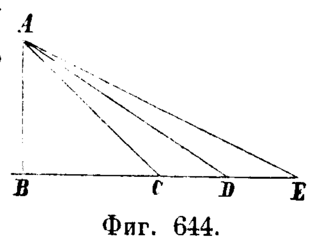
$$G : g = p \frac{h}{l} : p = h : l$$

Скорость, пріобрѣтенная въ точкѣ B § 433) будетъ $v=\sqrt{2gh}$. Скорость въ точкѣ C будетъ

$$v'=\sqrt{2G.AC}=\sqrt{2Gl}=\sqrt{2gh}, \text{ ибо } G=g\frac{h}{l}$$

Слѣдов. $v=v'$. Тоже самое нашли бы еслибы вмѣсто AC взяли какую-нибудь другую наклонную линію.

Итакъ: *тѣло, двигаясь внизъ, достигаетъ данной горизонтальной плоскости съ одинаковою скоростью, двигается ли оно по наклонной линіи, или падаетъ вертикально.*



Фиг. 644.

§ 440. Понятіе масса. Сравненіе понятій масса и вѣсъ.

Сила данной величины, дѣйствуя на разныя тѣла производитъ не одинаковое движеніе. Пріобрѣтаемое ускореніе будетъ различно, смотря по количеству матеріальныхъ частицъ или *массъ* тѣла. Чѣмъ болѣе присоединимъ мы къ тѣлу матеріальныхъ частицъ, чѣмъ болѣе сдѣлаемъ его массу, не измѣняя величины дѣйствующей силы, тѣмъ медленнѣе будетъ движеніе отъ дѣйствія этой силы.

Это положеніе взято изъ опыта, но изслѣдованіе на опытѣ зависимости движенія отъ массы представляетъ нѣкоторыя затрудненія. Мы не можемъ осуществить на опытѣ простѣйшаго случая: взять тѣло, на которое не дѣйствуетъ никакая сила, подвергнуть его дѣйствію опредѣленной силы, изслѣдовать движеніе, потомъ присоединить новое количество вещественныхъ частицъ, вторично изслѣдовать движеніе отъ той же самой силы и сравнить оба случая между собою. Въ природѣ нѣтъ

тѣла свободнаго отъ дѣйствія всякой силы: на всѣ наблюдаемыя нами тѣла дѣйствуетъ земное притяженіе, и они имѣютъ вѣсъ. Самою силою тяжести мы не можемъ прямо воспользоваться для нашей цѣли. Если къ данному тяжелому тѣлу присоединимъ новыя вещественныя частицы, то чрезъ это измѣнимъ самую величину дѣйствующей силы, то-есть вѣсъ, а въ предыдущей простѣйшей формѣ опыта мы предполагали, что, присоединяя новыя частицы къ тѣлу, мы не измѣняемъ величины дѣйствующей на него силы.

Но представимъ себѣ на поверхности воды поплавокъ, на которомъ помѣщенъ кусокъ желѣза вмѣстѣ съ другими тѣлами, на которыя магнитъ не дѣйствуетъ притягательно. Приблизивъ магнитъ, мы можемъ разсматривать нашъ поплавокѣ, какъ тѣло, на которое дѣйствуетъ опредѣленная сила—притяженіе магнита. Строго нельзя, конечно, сказать, что здѣсь дѣйствуетъ только сила магнитнаго притяженія, такъ какъ поплавокъ, желѣзо и постороннія тѣла подвержены дѣйствію тяжести и имѣютъ вѣсъ; но тяжесть не имѣетъ вліянія на движеніе поплавка по поверхности воды, ибо безъ дѣйствія магнита поплавокъ остается въ покоѣ и не стремится двигаться ни въ ту, ни въ другую сторону.

Прикрѣпивъ къ поплавку нить, мы можемъ удержать его въ покоѣ, хотя близь его находится магнитъ: натяженіе этой нити покажетъ величину дѣйствующей силы, ея направленіе—направленіе силы. Такъ какъ магнитъ дѣйствуетъ только на желѣзо, то присутствіе на поплавкѣ постороннихъ тѣлъ не имѣетъ вліянія на величину дѣйствующей силы, и натяженіе нити останется то же самое, прибавимъ ли мы на поплавокъ новыя тѣла, или уменьшимъ ихъ количество. Такимъ образомъ прибавленіе или убавленіе постороннихъ тѣлъ не имѣетъ вліянія на равновѣсіе.

Нельзя того же сказать о движеніи. Если, выпустивъ нить, мы дозволимъ поплавку придти въ движеніе, то это движеніе будетъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ болѣе тѣлъ наложено на поплавкѣ. Такимъ образомъ присоединеніе новыхъ частицъ, безъ измѣненія величины дѣйствующей силы, замедляетъ движеніе. Такъ какъ количество частицъ составляетъ *массу тѣла*, то мы можемъ сказать: чѣмъ больше масса тѣла на которое дѣйствуетъ сила, тѣмъ медленнѣе происходитъ его движеніе.

Въ примѣрѣ съ поплавкомъ движеніе замедляется не отъ того, что присоединяемыя тѣла имѣютъ *вѣсъ*, но отъ того, что они имѣютъ *массу*. Не должно смѣшивать между собою эти два понятія. Вѣсъ есть явленіе до нѣкоторой степени случайное. Можно вообразить тѣло безъ вѣса; нельзя вообразить тѣло безъ массы. Вѣсъ даннаго тѣла, если бы перенести его на солнце, увеличился бы въ 26 разъ; пудъ мѣди на солнцѣ давилъ бы на поддерживающее его препятствіе такъ какъ на землѣ давятъ 26 пудовъ, но масса куска осталась бы та же самая, Еслибы, представляя магнитное притяженіе неизмѣняемымъ, мы могли произвести нашъ опытъ на солнцѣ, на лунѣ и гдѣ угодно, онъ всюду произошелъ бы одинаковымъ образомъ, и замедленіе движенія было бы то же самое.

Хотя вѣсъ и масса не одно и то же, но между ними есть важное соотношеніе. Положимъ, что постороннее тѣло, помѣщенное на поплавкѣ, было мѣдь. Снимемъ ее и замѣнимъ, напримѣръ, платиной. Тогда мы можемъ положить платины столько, что поплавокъ будетъ двигаться точно также какъ двигался будучи обремененъ мѣдью. Такимъ образомъ, относительно замедленія движенія, прежнее количество мѣди и новое количество платины имѣютъ одинаковое значеніе. Мы говоримъ, что въ нашемъ случаѣ масса мѣди

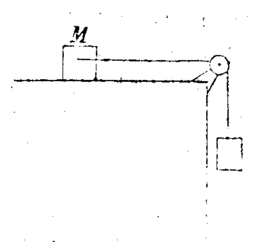
равна массѣ платины. Еслибы мы свѣсили количества мѣди и платины, то увидѣли бы, что они имѣютъ одинаковый вѣсъ. Такимъ образомъ *два тѣла имѣющія одинаковый вѣсъ имѣютъ и массу одинаковую.* О массѣ мы судимъ по вѣсу: вѣсъ пропорціоналенъ массѣ.

На самомъ дѣлѣ, конечно, опытъ съ поплавкомъ нельзя произвести съ достаточною точностію, и мы указали его лишь съ цѣлью уясненія понятій. Для точнаго изслѣдованія законовъ движенія мы должны возвратиться къ изученію дѣйствія тяжести на тѣла. Снарядъ удобный для изученія вліянія массы на движеніе есть *машина Атвуда*, которую опишемъ въ слѣдующемъ параграфѣ.

Слѣдующій простой опытъ также показываетъ вліяніе массы на движеніе. Мы можемъ ногою оттолкнуть лодку отъ берега и заставить ее пройти нѣкототорое пространство. Легко убѣдиться что отъ толчка одинаковой силы нагруженная лодка придетъ въ болѣе медленное движеніе, чѣмъ пустая.

Не должно думать, что такъ какъ тяжесть на лунѣ въ шесть разъ менѣе чѣмъ на землѣ, то ядро выброшенное тою же силою пороха пріобрѣтаетъ на лунѣ въ шестеро большую скорость. Это не вѣрно. Пріобрѣтаемая скорость зависитъ отъ массы, а не отъ вѣса и будетъ таже самая; но разстояніе какое ядро пролетитъ, прежде чѣмъ коснется почвы, на лунѣ значительнѣе. Подобную ошибку дѣлали нѣкоторые ученые, говоря объ изверженіяхъ лунныхъ волкановъ и расчитывая, что при *данной силѣ изверженія* тѣло выбрасываемое изъ луннаго кратера должно будто бы имѣть въ шесть разъ большую скорость чѣмъ на землѣ, ибо тѣло это на лунѣ въ шесть разъ легче.

§ 441. Атвудова машина. Представимъ себѣ гирю, висящую на нити, которая (фиг. 645) перекинута черезъ блокъ, и прикрѣплена къ тѣлу *М* лежащему на плоскости. Гиря и тѣло представляютъ одну систему. Если эта система ничѣмъ не удерживается, то она приходитъ въ движеніе: гиря опускается, увлекая за собою тѣло. Сила, производящая движеніе, есть вѣсъ гири. Вѣсъ тѣла *М* прямо не имѣетъ вліянія на величину движущей силы, ибо тяжесть, дѣйствуя сверху внизъ, не стремится двигать тѣло по плоскости ни вправо, ни влѣво. Тѣло *М* замедляетъ движеніе гири и притомъ главнымъ образомъ не потому, что имѣетъ вѣсъ, а потому, что имѣетъ массу. Еслибы земля дѣйствовала притягательно только на гирю, а тѣло не имѣло бы вѣса и слѣд. не оказывало бы никакого давленія на плоскость, то движеніе гири тѣмъ не менѣе было бы замедлено. Вѣсъ тѣла *М* только осложняетъ явленіе, ибо служитъ причиною *тренія*, которое дѣйствуетъ какъ сила направленная противоположно дѣйствію гири. На практикѣ нельзя уничтожить треніе, и оно тѣмъ больше, чѣмъ больше вѣсъ тѣла. Потому, говоря строго, тѣло участвуетъ двоякимъ образомъ въ явленіи: вопервыхъ потому что имѣетъ массу; вовторыхъ потому, что имѣетъ вѣсъ, прижимающій его къ плоскости и служащій причиною тренія.

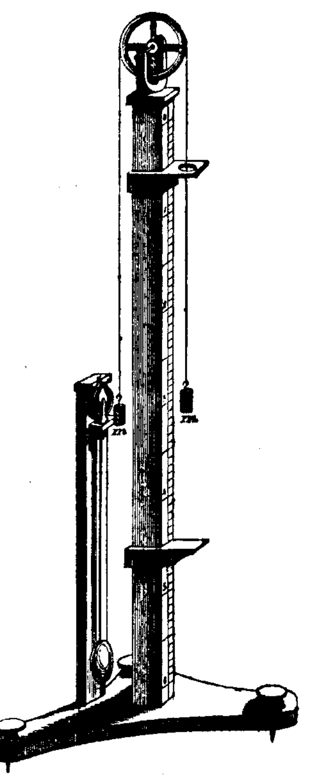


Фиг. 645.

Въ случаѣ тѣла скользящаго по плоскости треніе велико. Но измѣнивъ расположеніе опыта, можно, безъ значительнаго тренія, достичь той же цѣли, какой мы предполагали достичь помощію тѣла, скользящаго по плоскости.

Перекинемъ нить, держащую гирю (фиг. 646), черезъ блокъ и привѣсимъ къ ней вторую гирю. Если эти двѣ гири равны между собою, то дѣйствіе вѣса первой уничтожится дѣйствіемъ второй, и обѣ останутся въ равновѣсіи. Соединенныя такимъ образомъ двѣ гири мы можемъ разсматривать какъ систему, на которую не дѣйствуетъ никакая движущая причина. Но положимъ, что одна изъ гирь вѣситъ больше, чѣмъ другая; присоединимъ, напримѣръ, къ одной изъ гирь при-

бавокъ вѣса p. Тогда этотъ прибавочный вѣсъ будетъ дѣйствовать, какъ движущая сила. Назвавъ массу каждой изъ гирь M, массу прибавка m, можемъ сказать, что въ разсматриваемомъ случаѣ сила p дѣйствуетъ на систему состоящую изъ двухъ гирь и прибавка или, другими словами, на массу $2M+m$. Гири имѣютъ такое же значеніе, какъ тѣло M въ предыдущемъ опытѣ, и служатъ, вслѣдствіе своей массы, для замедленія движенія. Кромѣ гирь приводится въ движеніе самый блокъ имѣющій также массу. Но на вліяніе массы блока не будемъ обращать вниманіе, предполагая блокъ очень легкимъ и слѣд. массу его очень малою.



Фиг. 646.

Гири обыкновенно составляются изъ отдѣльныхъ, наложенныхъ одинъ на другой металлическихъ кружковъ. Перекладывая кружки съ одной гири на другую можемъ измѣнять величину дѣйствующей силы, не присоединяя прибавочнаго груза m и сохраняя движущуюся массу $2M$ безъ измѣненія.

Чтобы измѣрять проходимое въ данное время *пространство*, помѣщаютъ неподвижное препятствіе на такой высотѣ, что падающая гиря ударяется въ него въ одинъ моментъ съ опредѣленнымъ ударомъ маятника измѣряющаго время. Чтобы измѣрять *скорость* соотвѣтствующую данной точкѣ пути, даютъ той части падающей гиря которая представляетъ избытокъ ея вѣса сравнительно съ другою гирею,—форму пластинки (фиг. 647) и помѣщаютъ въ той точкѣ пути для которой желаютъ опредѣлить скорость *кольцо* чрезъ которое гиря проходитъ свободно, но пластинка не можетъ пройти. Какъ скоро пластинка снята, дѣйствіе избытка вѣса, ускоряющее движеніе, прекращается, и гири продолжаютъ двигаться *равномѣрно съ пріобрѣтенною скоростію*. Скорость эту не трудно опредѣлить, устроивъ такъ, чтобы нѣкоторый ударъ маятника совпадалъ съ моментомъ прохожденія гири чрезъ кольцо, а одинъ изъ слѣдующихъ съ моментомъ ея паденія на неподвижное препятствіе.

Фиг. 647.

Описанный снарядъ по имени изобрѣтателя именуется *машиною Атвуда* (Atwood, англійскій ученый средины прошлаго столѣтія). Въ Атвудовой машинѣ треніе также участвуетъ въ явленіи, но оно незначительно и ограничивается треніемъ оси блока о подставки на которыхъ она помѣщена.

Пользуясь машиной Атвуда, мы можемъ, *во-первыхъ*, оправдать законы равномѣрно-ускореннаго движенія падающихъ тѣлъ. Пусть, напримѣръ, опускающаяся гиря, при началѣ движенія, въ промежутокъ между двумя ударами маятника (въ первую секунду паденія, если маятника бьетъ секунды) проходитъ 4 центиметра. Тогда должно неподвижное препятствіе помѣстить на разстояніи отъ начала движенія равномъ $4 . 2^2 = 16$ цент.; $4 . 3^2 = 36$ цент.; $4 . 4^2 = 64$ цент. чтобы ударъ о препятствіе совпадалъ съ третьимъ, четвертымъ, пятымъ ударомъ маятника.

Если помѣстить кольцо (фиг. 647) на разстояніи 4 центиметровъ отъ начала, то препятствіе надо поставить на разстояніи $4 + 4 . 2 = 12$ ц.; $4 + 4 . 2 + 4 . 2 = 20$ ц.; $4 + 4 . 2 + 4 . 2 + 4 . 2 = 28$ цент. чтобы ударъ о

препятствіе совпадало съ третьимъ, четвертымъ, пятымъ ударомъ маятника (съ момента когда гиря прошла чрезъ кольцо, движеніе сдѣлалось равномѣрнымъ со скоростію $4 \cdot 2 = 8$ цент.).

Для этой цѣли прибавимъ къ нашимъ гирямъ по стольку кружковъ, чтобы вѣсъ гирь сдѣлался вдвое больше прежняго. Напримѣръ, если прежде одна гиря состояла изъ 18, другая изъ 22 кружковъ (такъ что общая масса заключала въ себѣ 40 кружковъ), то, присоединивъ къ каждой гирѣ по 20 кружковъ, получимъ общую массу вдвое больше прежняго (изъ 80 кружковъ распредѣленныхъ такъ, что въ первой гири ихъ 38, во второй 42). Избытокъ вѣса второй, равняющійся 4 кружкамъ, остается прежній; слѣдовательно сила не измѣнилась. Въ такомъ случаѣ пространство a и ускореніе g уменьшатся *вдвое* и будутъ $\frac{1}{2}a$ и $\frac{1}{2}g$. Еслибы мы увеличили массу втрое, то пространство и ускореніе уменьшились бы втрое и были бы $\frac{1}{3}a$ и $\frac{1}{3}g$. Итакъ, въ случаѣ дѣйствія силы данной величины на тѣла различной массы, проходимое въ первую секунду пространство и пріобрѣтаемое въ продолженіе секунды ускореніе *обратно пропорціональны массѣ движущагося тѣла.*

Если мы хотимъ, чтобы, не смотря на увеличеніе массы, движеніе осталось безъ перемѣны, то мы должны въ томъ же отношеніи увеличить дѣйствующую силу. Въ нашемъ примѣрѣ, для того чтобы масса изъ 80 пластинокъ двигалась такъ какъ движется масса изъ 40 пластинокъ отъ силы равной 4, мы должны величину движущей силы сдѣлать равною 8, и слѣд. расположить пластинки такъ чтобы на одной гири ихъ было 36, на другой 44. Другими словами, силы P и Q должны относиться между собою какъ массы m и m', если мы желаемъ, чтобы, дѣйствуя на эти массы, онѣ производили одинаковое ускореніе, т.-е.

$$\frac{P}{Q} = \frac{m}{m'}$$

Если сила P, дѣйствуя на массу m, производитъ ускореніе g, то ускореніе g', которое она произведетъ дѣйствуя на массу m', найдется изъ пропорціи

$$\frac{g}{g'} = \frac{m'}{m}, \text{ или } m'g' = mg.$$

Пусть гири надъ которыми мы дѣлали опытъ состояли изъ мѣдныхъ кружечковъ. Замѣнимъ нѣкоторыя или всѣ эти кружечки свинцовыми *того же вѣса.* Увидимъ что движеніе не перемѣнится. Заключаемъ, что два тѣла одинаковаго вѣса имѣютъ и массу одинаковую; другими словами что *вѣсъ пропорціоналенъ массѣ.*

Пропорціональностію вѣса массѣ тѣла объясняется то явленіе что тѣла различнаго вѣса, двигаясь по наклонной линіи даннаго наклона (напримѣръ при высотѣ h и длинѣ, l) двигаются одиаково, проходя въ первую секунду то же пространство a и пріобрѣтая то же ускореніе g. Пусть первое тѣло имѣетъ, напримѣръ, вѣсъ p, второе $2p$. Слагающая сила, дѣйствующая по направленію движенія, будетъ въ первомъ случаѣ $p \cdot \frac{h}{l}$, во второмъ $2p \cdot \frac{h}{l}$, и слѣдовательно увеличится вдвое. Еслибы масса въ обоихъ случаяхъ была одинакова, то ускореніе во второмъ должно бы быть вдвое болѣе перваго, но какъ масса въ свою очередь увеличилась вдвое, то это обстоятельство уменьшаетъ ускореніе также вдвое. Такимъ образомъ ускореніе вслѣдствіе увеличенія силы увеличивается вдвое, а вслѣдствіе увеличенія массы уменьшается вдвое. Потому оно должно остаться безъ перемѣны.

Отсюда можно вывести заключеніе, что не только на наклонной плоскости, но и при вертикальномъ паденіи тѣла различнаго вѣса должны падать съ одинаковою скоростью; ибо во сколько разъ болѣе сила дѣйствующая на тяжелѣйшее изъ двухъ тѣлъ, во сколько же разъ и масса этого послѣдняго болѣе массы перваго.

§ 442. Измѣреніе силъ произведеніемъ массы на ускореніе или количествомъ движенія пріобрѣтаемымъ въ единицу времени. Допустимъ что двѣ постоянныя силы

P и P', дѣйствуя на массы m и m', производятъ ускоренія g и g'. Легко доказать, что

$$\frac{P}{P'} = \frac{mg}{m'g'}.$$

Дѣйствительно, положимъ что есть третья сила Q, которая, дѣйствуя на массу m', производитъ ускореніе g. Тогда

$$\frac{P}{Q} = \frac{m}{m'} \quad \text{и} \quad \frac{Q}{P'} = \frac{g}{g'}$$

ибо P и Q производятъ одинаковое ускореніе g; Q и P' дѣйствуютъ на одинаковую массу m'.

Отсюда, перемноживъ уравненія, получаемъ

$$\frac{P}{P'} = \frac{mg}{m'g'}$$

Слѣдовательно

$$P = \frac{P'}{m'g'} \cdot mg.$$

Эту формулу можно упростить, относя величины P', m', g' къ простѣйшему случаю, когда сила P', дѣйствующая на массу m', равна единицѣ (одному килограмму, ибо за единицу силъ мы условились въ § 436 принимать килограммъ).

Избравъ приличную единицу для измѣренія массы именно условившись за единицу массы считать количество вещества заключающагося въ 9,8 килограммахъ, можно всю величину $\frac{P'}{m'g'}$ сдѣлать равною единицѣ.

Еслибы мы приняли за единицу массы количество вещества, заключающееся въ единицѣ вѣса, въ кило

граммѣ, то $\frac{P'}{m'g'}$ не было бы равно единицѣ. Въ такомъ случаѣ мы имѣли бы $P' = 1$, $m = 1$, но g' не было бы ровно единицѣ, ибо дѣйствіе силы равной единицѣ на количество вещества, заключающагося въ единицѣ вѣса, есть не что иное какъ случай свободнаго паденія тѣла котораго вѣсъ равенъ единицѣ. Въ случаѣ же свободнаго паденія ускореніе равно 9,8 метр., а не одному метру.

Но если мы *за единицу массы примемъ количество вещества заключающагося въ 9,8 килограммахъ*, тогда предыдущая величина обратится въ единицу. Дѣйствительно, если $m' = 1$ означаетъ количество вещества, заключающагося въ 9,8 килограммахъ, то сила $P' = 1$ килограмму, дѣйствуя на 9,8 килограммовъ (напримѣръ при помощи Атвудовой машины), произведетъ ускореніе $g' = 1$ и слѣдовательно будемъ имѣть

$$\frac{P'}{m'g'} = 1$$

Въ такомъ случаѣ

$$P = mg$$

Величина силы равняется произведенію массы на ускореніе. Произведеніе массы тѣлъ на его скорость именуется вообще *количествомъ движенія.* Величина mg есть слѣд. *количество движенія пріобрѣтаемое тѣломъ къ концу первой секунды.* Оно служитъ мѣрою силы.

Изъ формулы $P = mg$ имѣемъ

$$m = \frac{P}{g}.$$

Слѣд. масса, по числовой величинѣ, есть *отношеніе силы къ ускоренію.*

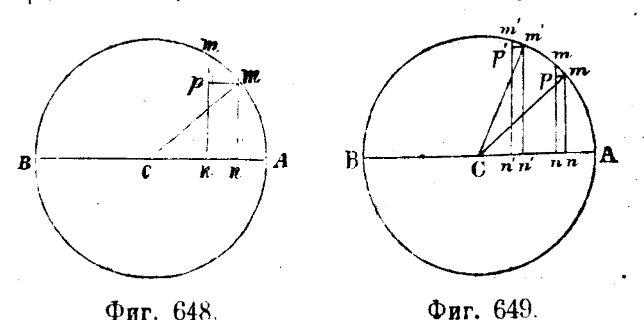
§ 443. Абсолютное измѣреніе силъ. Чтобы привести къ согласію статическое измѣреніе силъ по сравненію съ единицею вѣса и динамическое по количеству движенія пріобрѣтаемаго въ единицу времени, потребовалось, какъ мы видѣли въ предыдущемъ параграфѣ за единицу массы принять количество вещества заключающееся въ g единицахъ вѣса. Но такое условіе слишкомъ искусственно. Гораздо естественнѣе принять за единицу массы то количество вещества какое заключается въ единицѣ вѣса. За единицу же силы выбрать не вѣсъ, мѣняющійся на разныхъ пунктахъ земли, а такую силу которая, дѣйствуя впродолженіе секунды, сообщила бы единицѣ массы скорость равную единицѣ, то-есть одинъ метръ. Эта сила была бы равна вѣсу гири въ одинъ килограммъ еслибы гиря эта была не на землѣ, а на такой планетѣ гдѣ падающія тѣла пріобрѣтаютъ въ концѣ первой секунды паденія скорость не 9,8 метровъ какъ на землѣ, а лишь 1 метръ (проходятъ слѣд. въ первую секунду полметра). Вѣсъ же килограмма матеріи на землѣ выразится въ такомъ случаѣ числомъ 9,8 или g. Такимъ образомъ единица силы въ g разъ менѣе вѣса гири заключающей въ себѣ килограммъ вещества (то-есть которой масса есть единица). Измѣреніе силъ помощію такой единицы именуется *абсолютнымъ измѣреніемъ*.

§ 444. Измѣреніе перемѣнныхъ силъ. Сила *постоянная* измѣряется количествомъ движенія сообщаемымъ ею тѣлу въ единицу времени. Силу *перемѣнную* условились измѣрять тѣмъ количествомъ движенія какое она *сообщила бы* тѣлу *еслибы начиная съ разсматриваемаго момента, осталась постоянною въ теченіе единицы времени*. Если законъ возрастанія скорости извѣстенъ въ данномъ случаѣ, то можно опредѣлить *ускореніе*, то-есть приращеніе скорости въ единицу времени, какое послѣдовало бы если бы, начиная съ даннаго момента, сила сохранила свою величину, и скорость возрастала бы какъ возрастаетъ она въ равномѣрно-ускоренномъ движеніи (это ускореніе помноженное на массу тѣла дало бы искомое количество движенія). Во всякомъ случаѣ мы получимъ величину весьма близкую къ этому ускоренію, если приращеніе скорости проис-

шедшее въ очень малое время раздѣлимъ на величину этого времени. Дѣйствительно, если скорость въ теченіе малаго промежутка времени τ получитъ приращеніе w, то приращеніе скорости въ единицу времени или ускореніе g,—предполагая что въ каждый промежутокъ τ скорость получаетъ одинаковое приращеніе (такъ бываетъ если дѣйствіе силы останется постояннымъ)—найдется изъ пропорціи $g : w = 1 : \tau$ откуда $g = \frac{w}{\tau}$. Эта величина тѣмъ ближе будетъ подходить къ искомой величинѣ ускоренія чѣмъ менѣе вообразимъ промежутокъ τ. Въ предѣлѣ, который можно угадать, она выразитъ истинную величину искомаго ускоренія.

Если изобразить графически законъ даннаго движенія помощію кривой скоростей то, принимая въ соображеніе что кривая скоростей, въ случаѣ равномѣрно-ускореннаго движенія и слѣд. постоянной силы, обращается въ прямую линію и что каждую кривую можно разсматривать состоящею изъ прямолинейныхъ элементовъ, не трудно наглядно показать, что движеніе перемѣнное можно разсматривать какъ состоящее изъ ряда равномѣрно-ускоренныхъ и перемѣнную силу какъ постоянную впродолженіе очень малаго промежутка времени. Ускореніе соотвѣтствующее концу даннаго времени, служащее (будучи помножено на массу) мѣрою силы въ разсматриваемый моментъ, найдемъ, опредѣливъ тангенсъ угла касательной къ кривой скоростей въ соотвѣтствующей точкѣ. Разсужденіе подобное тому какимъ въ § 431 на основаніи кривой пространствъ опредѣляли величину скорости: здѣсь на основаніи кривой скоростей выводимъ величину ускоренія.

Приложимъ эти разсужденія къ случаю гармоническаго движенія. Опредѣлимъ въ этомъ случаѣ, по извѣстному закону измѣненія скорости, законъ измѣненія *ускоренія* въ разныхъ точкахъ пути, а слѣдов. и законъ какому должна удовлетворять величина перемѣнной силы способной произвести движеніе этого рода. Въ § 430 доказано, что въ движеніи гармоническомъ скорость (фиг. 648 и 649) отъ точки A къ точкѣ C возрастаетъ пропорціонально ординатамъ mn, kl.... Но если ординаты изо-



Фиг. 648.

Фиг. 649.

бражаютъ такимъ образомъ скорости соотвѣтствующія разнымъ точкамъ пути n, n' и т. д., то приращенія скорости соотвѣтствующія равнымъ промежуткамъ времени τ (въ эти промежутки равномѣрнымъ движеніемъ проходятся равныя дуги mm, $m'm'$, а гармоническимъ неравныя линіи nn, $n'n'$) въ точкахъ n и n', а слѣд. и силы дѣйствующія въ этихъ точкахъ относятся между собою какъ малыя приращенія mp, $m'p'$ ординатъ mn и $m'n$. Но по причинѣ подобія треугольниковъ mCn и mmp; $m'Cn'$ и $m'm'p'$, линіи mp и $m'p'$ относятся между собою какъ nC и $n'C$; слѣд. силы дѣйствующія на тѣло въ точкахъ n и n' относятся между собою какъ разстоянія отъ средней точки C.

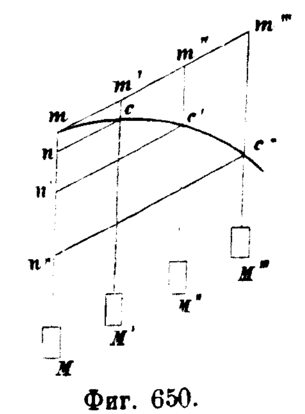
Отсюда, наоборотъ, можно заключить, что когда тѣло отклоненное отъ положенія равновѣсія привлекается къ этому положенію силою, величина которой тѣмъ болѣе чѣмъ болѣе отклоненіе (сила пропорціональна отклоненію), то происходящее качательное движеніе будетъ гармоническимъ. Мы видѣли, что въ случаѣ маятника сила гонящая его по описываемой малой дугѣ пропорціональна дугѣ отклоненія. Слѣдов. движеніе маятника должно происходить по закону гармоническаго движенія, съ тою лишь разницею, что въ разсмотрѣнномъ нами случаѣ гармоническаго движенія тѣло предполагалось качающимся по прямой линіи,—по діаметру AB; въ случаѣ же маятника качаніе происходитъ по дугѣ. Но если начертимъ прямую линію той же длины какъ дуга описываемая маятникомъ то, очевидно, можемъ воспользоваться теоремой о гармоническомъ движеніи, построивъ на этой линіи какъ на діаметрѣ кругъ (радіусъ котораго будетъ слѣдов. равенъ длинѣ половины размаха) и предполагая что нѣкоторая точка движется равномѣрнымъ движеніемъ по кругу, описывая его въ то самое время въ какое маятникъ дѣлаетъ размахъ взадъ и впередъ. Проложеніе этой точки на діаметръ будетъ двигаться точно такъ по діаметру, какъ маятникъ движется по дугѣ качанія. Если извѣстна скорость движенія по кругу, равная скорости гармоническаго движенія въ моментъ прохожденія чрезъ среднюю точку пути C, то не трудно найти время качанія. Этимъ воспользуемся ниже въ главѣ о маятникѣ.

§ 445. Дѣйствіе силы на тѣло движущееся не по ея направленію. Второй законъ движенія: „сила дѣйствуетъ одинаково какъ на тѣло находящееся въ движеніи такъ и на тѣло находящееся въ покоѣ,“ который выраженъ въ § 20 какъ выводъ изъ наблюденія надъ явленіями въ движущейся системѣ тѣлъ сравнительно съ явленіями въ покоющейся, позволяетъ разрѣшить вопросъо дѣйствіи силы на тѣло движущееся не по ея направленію.

Представимъ себѣ что, вслѣдствіе дѣйствія какой-

нибудь причины, тѣло пріобрѣло движеніе по опредѣленному направленію и, по закону инерціи, движется по этому направленію равномѣрно съ пріобрѣтенною скоростію (такое движеніе имѣла бы, напримѣръ, вылетѣвшая изъ ружья пуля, еслибы на нее не дѣйствовала тяжесть). Пусть въ то же время на это тѣло дѣйствуетъ другая причина, которая, еслибъ оно было въ покоѣ, заставила бы его двигаться по своему направленію движеніемъ перемѣннымъ. Какое движеніе произойдетъ при совмѣстномъ существованіи начальной скорости и дѣйствующей причины? Пользуясь закономъ относительнаго движенія, этотъ вопросъ легко разрѣшить въ слѣдующемъ частномъ случаѣ, а потомъ полученное заключеніе можно распространить и на другіе случаи, болѣе общіе.

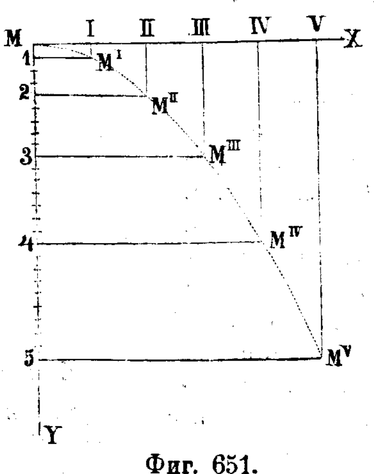
Представимъ себѣ (фиг. 650), что на линіи mM находятся тѣло m и другое M, притягивающее первое (можемъ, напримѣръ, вообразить, что m есть кусокъ желѣза, M магнитъ). Еслибы линія mM находилась въ покоѣ, то тѣло m двигалось бы, приближаясь къ M и переходя послѣдовательно чрезъ 1″, 2″ и т. д. въ точки n, n', n''... Но допустимъ, что сама линія mM, движется равномѣрно и переходитъ последовательно въ положенія $m'M'$, $m''M''$... и т. д. Тогда чрезъ 1″ система mM, перейдетъ въ положеніе $m'M'$; въ то же время тѣло m пройдетъ по самой линіи mM пространство равное mn; слѣдов. оно будетъ находиться въ точки c, которую найдемъ, проведя линію nc параллельно направленію mm''', по которому перемѣщается разсматриваемая система. Чрезъ



Фиг. 650.

2″ тѣло будетъ въ c' и т. д.; вообще опишетъ кривую линію $mcc'c''$.....

Перейдемъ къ случаю болѣе общему. Вмѣсто притягивающаго тѣла, лежащаго на линіи mM которая переносится вмѣстѣ съ тѣломъ, можемъ вообразить что на тѣло m, имѣющее начальную скорость (повинуясь которой, оно двигалось бы равномѣрно по линіи mm'''), дѣйствуетъ нѣкоторая сила по неизмѣняемому направленію, параллельному линіи mM. Куда бы ни переносилось тѣло, направленіе дѣйствующей на него силы остается параллельнымъ линіи mM; такимъ образомъ въ точкѣ c сила дѣйствуетъ по направленію cM'; въ какой-нибудь точкѣ c' по направленію $c'M''$ и т. д. Такой случай равнозначителенъ съ предыдущимъ, ибо очевидно, что направленіе, по которому дѣйствуетъ сила, можно разсматривать какъ линію которая переносится вмѣстѣ съ тѣломъ и на которой помѣщенъ центръ притяженія, служащій источникомъ силы дѣйствующей по этому направленію. Такимъ образомъ предыдущее строеніе прилагается и къ этому болѣе общему случаю.



Фиг. 651.

Допустимъ что сила, дѣйствующая на движущееся тѣло M (фиг. 651), есть *сила постоянная*, и пусть линія MX означаетъ первоначальное направленіе движенія, линія MY направленіе силы. Въ то время какъ линія MY (которую на основаніи предыдущихъ соображеній можно разсматривать какъ систему, къ которой принадлежитъ наше тѣло) переходитъ равномѣрнымъ движеніемъ слѣва вправо, тѣло M движется по линіи MY сверху внизъ движеніемъ равномѣрно-ускореннымъ. Еслибы линія MY не перемѣщалась, то тѣло M чрезъ секунду было бы въ точкѣ 1, чрезъ 2″ въ точкѣ 2 гдѣ $M2$ равняется четыремъ $M1$), чрезъ 3″ въ точкѣ 3 (гдѣ $M3$ равняется девяти $M1$) и т. д. Но такъ какъ линія MY сама перемѣщается, переходя равномѣрнымъ движеніемъ послѣдовательно въ положенія, означенныя цифрами I, II, III, IV.... то чрезъ 1″ точка M будетъ въ M', чрезъ 2′ въ M'' и т. д. Такимъ образомъ движеніе разсматриваемаго тѣла будетъ происходить по кривой линіи $MM^{I}M^{II}M^{III}$...., въ которой перпендикуляры M^{I}I, M^{II}II, M^{III}III, M^{IV}IV..., соотвѣтствующія равнымъ промежуткамъ MI, MII, MIII, MIV... относятся между собою какъ рядъ чиселъ:

$$1,\ 2^2,\ 3^2,\ 4^2....$$

Такая кривая называется *параболою.*

Примѣръ движенія такого рода представляетъ брошенное тѣло. Замѣтимъ, что на чертежѣ линіи MX и MY перпендикулярны между собою. Разсужденіе было бы то же самое, еслибъ эти линіи дѣлали между собою какой-нибудь уголъ.

Если направленіе силы, дѣйствующей на движущееся тѣло, не остается параллельнымъ въ различныхъ точкахъ пути, но измѣняется, то къ такому случаю нельзя прямо прилагать предыдущее разсужденіе. Но ясно, что если мы будемъ разсматривать дви-

женіе впродолженіе очень краткаго промежутка времени, то въ этотъ краткій промежутокъ величина и направленіе силы не измѣнятся замѣтнымъ образомъ, и мы можемъ воспользоваться предыдущимъ разсужденіемъ. Такимъ образомъ, если отъ дѣйствія силы направленной къ точкѣ O тѣло впродолженіе очень краткаго времени прошло линію AB, то, принимая линіи AO и BO, по малости угла AOB, за параллельныя между собою и проведя BD параллельно касательной AC, мы можемъ разсматривать линію AD какъ пространство, которое тѣло прошло бы впродолженіе краткаго времени, еслибъ оно было въ точкѣ A безъ начальной скорости и на него дѣйствовала сила пареллельно AO. По величинѣ пространства AD можно судить о величинѣ самой силы.

Фиг. 652.

Движеніе планетъ около солнца можно разсматривать какъ случай движенія происходящаго отъ силы направленной къ солнцу какъ центру притяженія. Еслибы путь описываемый данною планетою былъ точный кругъ, то движеніе, какъ показываетъ теорія, было бы равномѣрнымъ и силу можно было бы разсматривать какъ постоянную *).

Случай равномѣрнаго движенія по кругу представляетъ также тѣло приводимое въ равномѣрное вращеніе на станкѣ центробѣжной машины. Начала развитыя въ настоящей главѣ позволяютъ опредѣлить величину обнаруживающейся въ этомъ случаѣ *центробѣжной силы.*

Дѣйствительно, какъ мы видѣли въ § 20 перваго отдѣла, несвободное тѣло приведенное въ равномѣрное круговое движеніе *дѣйствуетъ на удерживающее его препятствіе по направленію радіуса отъ центра къ окружности.* По закону дѣйствія равнаго противодѣйствію слѣдуетъ, что препятствіе въ свою очередь дѣйствуетъ на тѣло по тому же направленію, но въ противоположную сторону, т.-е. отъ окружности къ центру.

*) Эти заключенія выведены Ньютономъ изъ законовъ Кеплера: 1) планеты обращаются вокругъ солнца по эллипсису въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце; 2) площади описываемыя радіусами векторами пропорціональны временамъ.

Такимъ образомъ дѣйствіе препятствія можно разсматривать какъ силу которая тянетъ тѣло къ центру.

Это положеніе можно подтвердить опытомъ. Пусть тѣло удерживается на постоянномъ разстояніи отъ центра вращенія помощію нити. Но вмѣсто того чтобы укрѣплять эту нить неподвижно въ центрѣ вращенія, перекинемъ ее черезъ блокъ и привѣсимъ на ея концѣ грузъ. Этому грузу можно дать такую величину, что, при нѣкоторой опредѣленной скорости вращенія, дѣйствіе его на тѣло, направленное, очевидно, отъ окружности къ центру, уравновѣситъ дѣйствіе центробѣжной силы. Нить можно расположить, какъ показано на фиг. 653; ее перекидываютъ чрезъ два блока, для того чтобы грузъ находился въ центрѣ движенія. Вѣсъ этого груза представляетъ силу, дѣйствующую на тѣло и уравновѣшивающую собою центробѣжную силу.

Фиг. 653.

Итакъ можно заключить, что, въ случаѣ круговаго движенія несвободнаго тѣла *препятствіе дѣйствуетъ на тѣло какъ сила постоянной величины, направленная къ центру движенія.*

Но постоянная сила, еслибы дѣйствовала въ точкѣ A (фиг. 652) на тѣло не имѣющее пріобрѣтенной скорости, заставила бы тѣло, впродолженіе малаго времени τ когда оно дѣйствительнымъ движеніемъ переходитъ изъ A въ B, пройти равномѣрно-ускореннымъ движеніемъ пространство AD опредѣляемое помощію линіи BD проведенной параллельно AC. По закону дѣйствія постоянной силы, пространство AD, пройденное впродолженіе времени τ, выразится формулою:

$$AD = \frac{g\tau^2}{2}$$

гдѣ g есть ускореніе, пріобрѣтаемое тѣломъ впродолженіе секунды отъ дѣйствія разсматриваемой силы.

Малую дугу AB можно принять равною хордѣ AB. Въ такомъ случаѣ (такъ какъ хорда есть средняя пропорціональная между всѣмъ діаметромъ и прилежащимъ къ ней отрѣзкомъ)

$$AD = \frac{AB^2}{2r},$$

гдѣ r есть радіусъ круга, по которому происходитъ движеніе. Вставляя величину AD въ предыдущее уравненіе и опредѣливъ g, получимъ:

$$g = \frac{2\,AD}{\tau^2} = \frac{2\,AB^2}{\tau^2} : 2r$$

Но $\frac{AB}{\tau}$ выражаетъ скорость разсматриваемаго нами равномѣрнаго движенія по кругу. Назовемъ ее буквою v. Слѣдовательно получимъ

$$g = \frac{v^2}{r} \; .$$

Величина g выражаетъ ускореніе. Величина самой движущей силы будетъ (назвавъ ее буквою F)

$$F = m\,g.$$

Или, вставивъ предыдущую величину g,

$$F = \frac{mv^2}{r} \; .$$

Мы видимъ, что величина силы, производящей движеніе по кругу, пропорціональна массѣ тѣла, пропорціональна квадрату скорости, и обратно пропорціональна радіусу описываемаго круга.

Эти формулы можно выразить иначе. Такъ какъ движеніе равномѣрно, то скорость получимъ, если раздѣлимъ пройденный путь на время. Пусть T изображаетъ время, впродолженіе котораго тѣло дѣлаетъ полный оборотъ и слѣдовательно описываетъ цѣлую окружность $2\pi r$. Тогда

$$v = \frac{2\pi r}{T} \; .$$

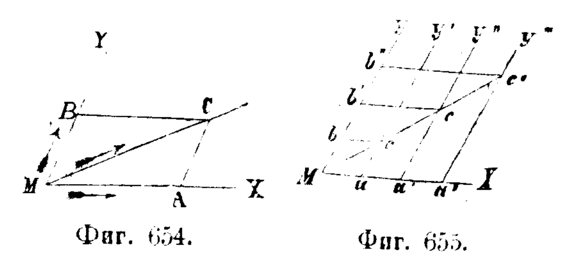
И, вставивъ въ предыдущія выраженія, получимъ:

$$g = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \; , \text{ а слѣд. } F = m\,\frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

Изъ этой формулы можно заключить, что если два тѣла одинаковой массы движутся по окружностямъ разныхъ радіусовъ, и описываютъ ихъ въ одно и то же время T, то сила дѣйствующая на большомъ кругѣ, во столько разъ болѣе той, которая дѣйствуетъ на маломъ, во сколько радіусъ перваго болѣе втораго.

Теоретическое разсужденіе, которымъ мы пользовались, прилагается ко всѣмъ случаямъ равномѣрнаго движенія по кругу. Въ случаѣ свободнаго тѣла предыдущая формула выражаетъ величину *центростремительной* силы тянущей тѣло къ центру движенія. Въ случаѣ несвободнаго тѣла она выражаетъ, съ одной стороны дѣйствіе препятствія замѣняющее собою центростремительную силу, съ другой величину противодѣйствія какое тѣло оказываетъ удерживающему его препятствію, т.-е. величину *центробѣжной силы.*

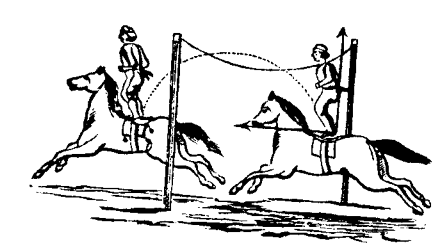
§ 446. Раздѣленіе силъ по продолжительности дѣйствія. Сложеніе движеній. По продолжительности дѣйствія силы раздѣляютъ иногда на *мгновенныя* и *непрерывныя.* Есть силы, которыхъ дѣйствіе продолжается очень короткое время, въ которое тѣмъ не менѣе они успѣваютъ сообщить тѣлу болѣе или менѣе значительную скорость. Такова, напримѣръ, сила пороха, дѣйствіе которой продолжается только то время когда пуля находится въ дулѣ ружья. Когда пуля вылетаетъ изъ ружья, давленіе на нее газовъ, въ которыя превратился порохъ, прекращается, и пуля летитъ вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости. Толчокъ сообщаемый тѣлу ударомъ, толчокъ какой мы даемъ собственному тѣлу при скачкѣ вверхъ также примѣры кратковременнаго дѣйствія силъ. Если новая скорость сообщается тѣлу имѣющему уже скорость и притомъ не по направленію этой послѣдней, то скорости эти на основаніи втораго закона движенія слагаются по закону параллелограмма, именуемаго въ этомъ случаѣ *параллелограммомъ скоростей.* Такимъ образомъ, если тѣлу имѣющему по направленію MX скорость, величину которой изобразимъ линіею MA, сообщается новая скорость по направленію MY и величина которой есть MB, то скорость движенія которое произойдетъ отъ совмѣстнаго дѣйствія этихъ двухъ причинъ изобразится *діагональю параллелограмма, построеннаго на линіяхъ* MA и MB. Дѣйствительно, линію MY по которой тѣло перемѣщалось бы, еслибы, будучи первоначально въ покоѣ, пріобрѣло скорость MB, можно разсматривать какъ систему



Фиг. 654. Фиг. 655.

которой принадлежитъ тѣло M и которая сама перемѣщается въ положенія aY', $a'Y''$, $a''Y'''$ и т. д. Еслибы тѣло M не имѣло скорости по направленію MY, то перемѣщалось бы въ точки a, a', a''..., то-есть имѣло бы то самое движеніе какое приписываемъ ему согласно первоначальному предположенію. Но вслѣдствіе скорости по MY, въ то время какъ линія MY перейдетъ въ положеніе aY', тѣло M пройдетъ по ней пространство, равное Mb, и слѣдовательно будетъ находиться въ точкѣ c, которую найдемъ, проведя bc параллельно MX. Когда MY перейдетъ въ положеніе $a'Y''$, точка M пройдетъ пространство, равное Mb', и будетъ находиться въ точкѣ c' и т. д. Слѣдовательно движеніе разсматриваемой точки будетъ по линіи $Mcc'c''$... или по *діагонали параллелограмма*, построеннаго на линіяхъ Ma'' и Mb'', изображающихъ пространства проходимыя точкою M въ одинаковое время отъ перваго и втораго движенія въ отдѣльности,—пространства пропорціональныя скоростямъ этихъ движеній.

Волтижеръ, скачущій на лошади (фиг. 656) и перепрыгивающій черезъ какое-нибудь препятствіе, также представляетъ



Фиг. 656.

примѣръ сложенія движеній. Желая перепрыгнуть черезъ препятствіе, волтижеръ дѣлаетъ скачокъ вверхъ. Еслибы лошадь была въ покоѣ, то вслѣдствіе этого скачка онъ поднялся бы вверхъ съ извѣстною скоростію. Но такъ какъ лошадь движется, то волтижеръ имѣетъ *пріобрѣтенную скорость*. Отъ совокупнаго дѣйствія скачка и пріобрѣтенной скорости движеніе произойдетъ по діагонали параллелограмма, построеннаго на скоростяхъ, но такъ какъ на тѣло волтижера дѣйствуетъ кромѣ того тяжесть, то онъ опишетъ не прямую линію, а кривую, и опять попадетъ на сѣдло.

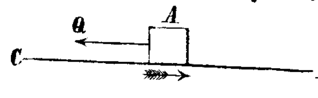
Ученіе о работѣ силъ.

§ 447. Понятіе о работѣ и ея измѣреніи. Работать въ механическомъ смыслѣ значитъ двигать тѣла, побѣждая препятствія, противопоставленныя ихъ движенію. Такъ, мы можемъ: 1) двигать пилу, рѣзецъ, ножницы, молотъ, вообще какое-либо *орудіе*, производящее дѣйствіе опредѣленнаго рода; 2) передвигать *грузъ* по горизонтальному направленію: катить камень, везти экипажъ и т. п.; 3) поднимать *грузъ*. Во всѣхъ этихъ случаяхъ, чтобы двигать тѣло, необходимо преодолѣвать сопротивленіе, противодѣйствующее движенію. Въ случаѣ орудія, главное сопротивленіе происходитъ отъ тѣхъ тѣлъ на которыя орудіе дѣйствуетъ, измѣняя ихъ опредѣленнымъ образомъ. Такъ, дѣйствуя пилой, работникъ свое усиліе употребляетъ главнымъ образомъ на то, чтобы раздѣлить частицы дерева, *пилить* его. Когда грузъ передвигается по горизонтальному направленію, то главное препятствіе, которое должно преодолѣвать, есть *треніе*. Чтобы поднять грузъ, надо побѣдить его *вѣсъ*, который въ такомъ случаѣ играетъ роль препятствія движенію.

Примѣръ, представляемый грузомъ, поднимаемымъ на опредѣленную высоту, позволяетъ составить ясное представленіе о значеніи и измѣреніи работы. Понятно, что въ этомъ случаѣ мы можемъ судить о работѣ, съ одной стороны, по величинѣ поднимаемаго груза, съ другой, по высотѣ, на которую этотъ грузъ поднимается, и что оба фактора эти имѣютъ равносильное значеніе. Чѣмъ значительнѣе грузъ и чѣмъ болѣе высота, тѣмъ болѣе производимая работа. Можемъ условиться принимать за единицу работы поднятіе опредѣленной единицы вѣса на единицу высоты и измѣрять величину работы произведеніемъ величины груза на высоту поднятія. Считая за единицу вѣса килограммъ, за единицу высоты метръ, можемъ принять, что работа, равная единицѣ, состоитъ въ поднятіи одного килограмма на одинъ метръ высоты. Эта единица работы выражается однимъ словомъ: *килограмметръ*. Еслибы за единицу вѣса приняли пудъ, а за единицу высоты футъ, то еди-

ница работы получила бы названіе *пудофута*. Поднятіе двухъ килограммовъ на высоту одного метра или одного килограмма на два метра высоты представляетъ двѣ единицы работы; работа, равная двадцати единицамъ, состоитъ въ поднятіи двадцати килограммовъ на одинъ метръ, или одного килограмма на двадцать метровъ. Двадцати же единицамъ будетъ равняться работа, состоящая въ поднятіи десяти килограммовъ на два метра, пяти на четыре и т. п.

Основываясь на томъ, что силы измѣряются по сравненію съ вѣсомъ, можно къ основной единицѣ работы привести не только всѣ случаи поднятія грузовъ на высоту, но и вообще всякую механическую работу. Чтобы показать, какимъ образомъ всякая работа можетъ быть выражена въ килограмметрахъ или пудофутахъ, представимъ себѣ, въ простѣйшей формѣ, общій случай работы. Пусть тѣло A (разсматриваемое какъ матеріальная точка) должно быть приведено въ движеніе отъ A къ B (фиг. 657) и пусть существуетъ *сопротивленіе* этому движенію. Это сопротивленіе можно представить въ видѣ нѣкоторой силы, дѣйствующей на тѣло A. Допустимъ, что величина этого сопротивленія остается постоянною во все время движенія, и что оно дѣйствуетъ прямо противоположно направленію движенія. Въ такомъ случаѣ его можно разсматривать какъ постоянную силу Q, направленную отъ A къ C. Эта сила имѣетъ опредѣленную величину, выражаемую въ единицахъ вѣса (такъ какъ силы измѣряются по сравненію съ вѣсомъ), напримѣръ 5, 9 и т. п. килограммовъ. Это значитъ: еслибы такая сила тянула тѣло при помощи нити, то напряженіе нити было бы равно тому какое она претерпѣваетъ. Тогда на ней виситъ грузъ въ 5 или 9 килограммовъ.



Фиг. 657.

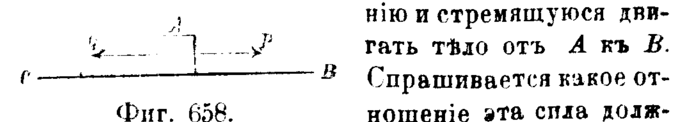
Чтобы была работа, тѣло должно передвигаться, не смотря на сопротивленіе. Другими словами сопротивленіе должно быть побѣждаемо на протяженіи пути, по которому двигаемъ тѣло. Единица которою измѣряется путь проходимый тѣломъ, есть метръ. Условимся считать преодолѣніе сопротивленія, въ килограммъ величиною, на протяженіи одного метра *за единицу работы*. Это новое опредѣленіе не противорѣчитъ прежнему, заимствованному отъ случая поднятія груза, но имѣетъ болѣе общее значеніе. Въ случаѣ поднятія килограмма на одинъ метръ, вѣсъ этого килограмма представляетъ собою сопротивленіе, побѣждаемое на протяженіи одного метра. Такимъ образомъ единица работы, *килограмметръ* представляетъ собою работу, потребную для того, чтобы преодолѣть на протяженіи метра постоянное препятствіе, разсматриваемое какъ

сила въ килограммъ величиною; въ частномъ же случаѣ поднятія груза—поднятіе одного килограмма на метръ высоты.

Въ случаѣ передвиженія тяжелаго тѣла по горизонтальномъ направленію, сила Q представляетъ собою величину тренія. Въ случаѣ орудія, сила Q означаетъ сопротивленіе, которое обрабатываемое тѣло противопоставляетъ движенію орудія.

Еслибы мы хотѣли нагляднѣе представить возможность выражать работу килограмметрами или пудофутами, то могли бы, въ случаѣ передвиженія тяжелаго тѣла A по горизонтальному направленію, вообразить, что къ тѣлу A прикрѣплена нить, перекинутая черезъ блокъ и несущая грузъ, который тянетъ тѣло отъ A къ C съ такою силою, съ какою во время движенія дѣйствуетъ по этому направленію треніе. Поднятію такого груза соотвѣтствовало бы преодолѣніе тренія. Сопротивленіе, встрѣчаемое пилою или другимъ орудіемъ (предполагая это сопротивленіе постояннымъ) мы могли бы также представить въ видѣ груза, присоединеннаго помощію нити и блока къ орудію и увлекаемаго имъ во время движенія. Впрочемъ такой способъ приведенія всякой работы къ поднятію груза можетъ повести къ неточности и приложимъ только въ случаѣ равномѣрнаго движенія тѣла или орудія. Хотя мы выражаемъ величину сопротивленія, какъ и всякой другой силы, опредѣленнымъ числомъ киллограммовъ, однакожъ отсюда не слѣдуетъ, чтобъ явленіе осталось то же самое, если мы *замѣнимъ* силу грузомъ въ то же число килограммовъ, привѣшеннымъ приличнымъ образомъ. Вводя грузъ, мы чрезъ это самое вводимъ новую массу, а присоединеніе новой массы измѣняетъ движеніе.

§ 148. Отношеніе между работою двигателя и работою сопротивленія. Для того чтобы сопротивленіе было побѣждено и работа произведена, необходима движущая причина или *двигатель*. Въ нашемъ простѣйшемъ случаѣ можемъ представить себѣ двигатель какъ силу P, дѣйствующую на тѣло противоположно сопротивленію и стремящуюся двигать тѣло отъ A къ B. Спрашивается какое отношеніе эта сила должна имѣть къ сопротивленію Q для того чтобы дѣйствіе сопротивленія было уничтожено, и тѣло двигалось бы по направленію отъ A къ B? Допустимъ, что сила P равна по величинѣ силѣ Q. Тогда понятно, что если тѣло находится первоначально въ покоѣ, оно не придетъ въ движеніе, ибо силы Q и P уничтожаются



Фиг. 658.

взаимно. Въ такомъ случаѣ нѣтъ никакой работы. Но если тѣло помощію какой-либо посторонней причины уже приведено въ движеніе и *во время движенія* на него дѣйствуютъ съ одной стороны сила Q, съ другой сила P, равная и противоположная силѣ Q, то эти силы взаимно уничтожаются, скорость остается безъ измѣненія, и тѣло, по закону инерціи, движется равномѣрно. Въ то же время работа производится, ибо сопротивленіе побѣждается на протяженіи опредѣленнаго пути,

Здѣсь должно сдѣлать важное замѣчаніе. Для того чтобы движеніе осталось равномѣрнымъ, необходимо чтобы величина силы P была равна той величинѣ сопротивленія какую это послѣднее имѣетъ *во время движенія.* По тѣмъ силамъ какія дѣйствуютъ на тѣло, пока оно удерживается въ покоѣ, нельзя судить о всей величинѣ сопротивленія, какое это тѣло будетъ испытывать во время движенія. Движеніе порождаетъ новыя сопротивленія, какъ треніе, сопротивленіе воздуха, которыхъ не бываетъ когда тѣло находится въ покоѣ. Въ случаѣ тѣла передвигаемаго по горизонтальному направленію и, обыкновенно, въ случаѣ орудія, сопротивленіе появляется только съ того момента, какъ тѣло приходитъ въ движеніе; пока тѣло въ покоѣ, величина Q равна нулю. Но, разумѣя подъ именемъ Q ту величину которую сопротивленіе имѣетъ во время движенія, можемъ сказать, что равенство силъ Q и P есть условіе требуемое для того, чтобы тѣло двигалось равномѣрно. Еслибы сила P была болѣе силы Q, такъ что было бы, напримѣръ, $P-Q=p$, то движеніе не осталось бы равномѣрнымъ, но ускорялось бы вслѣдствіе избытка силы, который мы назвали p. Еслибы во время движенія величина силы P сдѣлалась менѣе Q, то движеніе начало бы замедляться. Прибавимъ что для приведенія въ движеніе тѣла, на которое

дѣйствуютъ сила P и сопротивленіе Q, можно обойтись и безъ посторонней силы; достаточно, чтобы вначалѣ сила P была больше сопротивленія Q. Тогда, повинуясь избытку силы, тѣло придетъ въ движеніе. Движеніе будетъ ускоряться, пока P будетъ болѣе Q. Оно сдѣлается равномѣрнымъ, когда P будетъ равно Q.

Чтобы представить себѣ яснѣе взаимное отношеніе силъ P и Q различаютъ *работу двигателя* отъ *работы сопротивленія.* Произведеніе $Q.h$ называютъ работою сопротивленія; произведеніе $P.h$ работою двигателя. Величина h означаетъ путь, проходимый точкою приложенія каждой изъ силъ, путь, въ нашемъ простѣйшемъ примѣрѣ, одинаковый для силъ P и Q, такъ какъ онѣ обѣ непосредственно приложены къ тѣлу A.

Въ случаѣ, когда между P и Q находится рядъ посредствующихъ тѣлъ (случай машины, путь, проходимый точкою приложенія силы P, обыкновенно не одинаковъ съ тѣмъ, какой проходитъ точка приложенія силы Q.

Самое сопротивленіе Q можно разсматривать состоящимъ изъ двухъ частей: одна представляетъ полезное сопротивленіе, то-есть то, которое должно быть преодолѣно по цѣли работы, другое, такъ-называемое вредное сопротивленіе, сопровождающее первое.

Если движеніе равномѣрно, то $Qh=Ph$, такъ какъ $Q=P$. Слѣд. *работа двигателя равна работѣ сопротивленія.* Если P болѣе Q, такъ что $P-Q=p$, то

$$Ph-Qh=ph,$$

работа двигателя Ph болѣе работы сопротивленія Qh величиною ph.

Этотъ избытокъ работы идетъ на увеличеніе скоросcти движенія, и, какъ легко доказать, между величиною ph и приращеніемъ скорости существуетъ замѣчательное соотношеніе.

Пусть скорость тѣла A въ тотъ моментъ съ котораго мы начинаемъ разсужденіе, есть v_0. Тѣло A можно разсматри-

вать какъ свободное тѣло имѣющее массу m и подверженное дѣйствію силы $P - Q = p$. Величину p будемъ разсматривать какъ постоянную. Согласно § 442, $p = mg$.

По закону дѣйствія постоянной силы скорость по прошествіи времени t съ разсматриваемого момента, выразилась бы формулою

$$v = v_0 + gt.$$

Пройденное впродолженіе времени t пространство было бы.

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

Исключимъ величину t изъ этихъ уравненій. Для этого достаточно первое возвести въ квадратъ

$$v^2 = v_0^2 + 2v_0 gt + g^2t^2 \text{ или}$$

$$\frac{v^2 - v_0^2}{2g} = v_0 t + \frac{gt^2}{2} = h.$$

Отсюда, такъ какъ $p = mg$

$$ph = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

Величина mv^2 и mv_0^2 именуются *живою силою*. Слѣдовательно *работа силы дѣйствующей на тѣло, имѣющее начальную скорость, равняется половинѣ приращенія живой силы этого тѣла.*

До сихъ поръ мы допускали, что двигатель и сопротивленіе приложены къ одному и тому же тѣлу. Но обыкновенно между двигателемъ и сопротивленіемъ находится цѣлый рядъ посредствующихъ тѣлъ. Достаточно привести нѣсколько примѣровъ двигателей, чтобъ убѣдиться въ необходимости такихъ посредствующихъ тѣлъ для того, чтобы данный двигатель могъ преодолѣвать данное сопротивленіе.

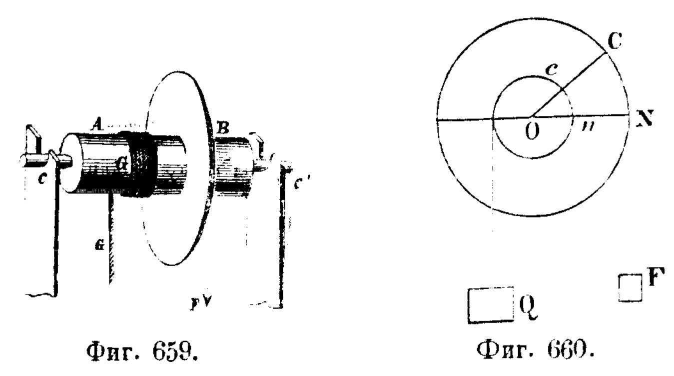
Сила человѣка, лошади (живые двигатели), вѣсъ опускающагося внизъ груза, текущая вода, нагрѣтый воздухъ, паръ,— вотъ различные примѣры двигателей. Въ большинствѣ случаевъ двигатель не можетъ непосредственно дѣйствовать на орудіе или грузъ. Нѣтъ, напримѣръ, возможности прямымъ дѣйствіемъ потока воды или вѣтра на пилу заставить ее пилить дрова, но вѣтеръ своимъ давленіемъ на крылья мельницы, вода на лопаты колеса легко могутъ привести въ движеніе мельницу и колесо, а соединяя опредѣленнымъ образомъ ось колеса или ось крыльевъ съ пилою, можно заставить ее двигаться

взадъ и впередъ и пилить. Тѣ посредствующія части, однѣ неподвижныя, другія подвижныя, при помощи которыхъ дѣйствіе двигателя передается орудію или грузу, составляютъ *машину*.

Теорема о работѣ прилагается къ вопросу о дѣйствіи машинъ. Когда двигатель побѣждаетъ сопротивленіе при посредствѣ машины, то обыкновенно точки приложенія силы и сопротивленія проходятъ не одинаковый путь. Теорема о равенствѣ работы двигателя и работы сопротивленія въ приложеніи къ машинамъ получаетъ особенно важное значеніе. Она научаетъ, что когда помощію малой силы при посредствѣ машины побѣждается большое сопротивленіе, то это происходитъ подъ условіемъ, чтобы точка приложенія силы проходила путь значительно большій, чѣмъ точка приложенія сопротивленія.

§ 449. Приложеніе теоремы о работѣ къ случаю ворота. Для большей простоты разсужденія допустимъ, что тренія и вредныхъ сопротивленій не существуетъ, и не будемъ обращать вниманія на массу самого ворота.

Работа силы F, которую будемъ представлять себѣ какъ нѣкоторый грузъ тянущій веревку обматанную вкругъ колеса,— найдется, если величину ея помножимъ на путь, проходимый ея точкою приложенія. Грузъ F (фиг. 660) опускается на длину, равную величинѣ дуги CN, на какую колесо повертывается впродолженіе того времени, когда точка C замѣщаетъ собою точку N. Въ то же время точка c вала описываетъ дугу cn, и грузъ Q, поднятіе котораго есть цѣль машины, поднимается на длину этой дуги. Длина дугъ, соотвѣтствующихъ одному и тому же углу, пропорціональна величинѣ радіусовъ, которыми



Фиг. 659. Фиг. 660.

эти дуги описаны; слѣдов. дуга CN во столько разъ будетъ болѣе дуги cn, во сколько радіусъ колеса R болѣе радіуса вала r;

во столько же разъ, слѣдовательно, путь h, пройденный грузомъ F, будетъ болѣе пути h' пройденнаго грузомъ Q. Потому

$$h = h' . \frac{R}{r}$$

Итакъ работа силы F будетъ

$$Fh = Fh' . \frac{R}{r} .$$

работа силы Q будетъ

$$Qh'.$$

Но силы F и Q, если, какъ предполагаемъ, движеніе ворота равномѣрно, должны уравновѣшиваться взаимно при помощи ворота. Согласно закону рычага къ какому приводится теорія равновѣсія силъ на воротѣ, будемъ имѣть

$$Q = F . \frac{R}{r}, \text{ слѣд. } Qh' = Fh' . \frac{R}{r}$$

Сравнивая это выраженіе съ предыдущимъ выраженіемъ работы Fh, видимъ, что

$$Fh = Qh'.$$

Другими словами *работа двигателя равна работѣ сопротивленія.* Такимъ образомъ, хотя при посредствѣ ворота, приведеннаго въ движеніе, можно помощію малаго груза поднять большой, но высота на которую опускается малый грузъ, не равна высотѣ на которую поднимается большой. Еслибы не было тренія и вообще вредныхъ сопротивленій и можно было бы пренебречь массою ворота, то путь, пройденный малымъ грузомъ, былъ бы ровно во столько разъ болѣе пройденнаго большимъ, во сколько вѣсъ этого послѣдняго болѣе вѣса перваго.

§ 450. Общія замѣчанія о машинахъ. Воротъ во многихъ отношеніяхъ можно разсматривать какъ типъ машины и помощію его теоріи легко объяснить главное свойство машинъ вообще: преобразовать работу двигателя. Положимъ, что мы имѣемъ двигатель, способный произвести работу въ 12 килограмметровъ. Работу въ 12 килограмметровъ можно понимать различнымъ образомъ. Это можетъ обозначать 12 килограмметровъ, поднятыхъ на высоту 1 метра, или 4 кил., на высоту 3-хъ метровъ и т. д. Еслибы не было машины, то для

произведенія равномѣрнаго движенія сила должна бы равняться сопротивленію. При посредствѣ машины сила можетъ быть не равна сопротивленію; равенство же работы достигается тѣмъ, что точки приложенія этихъ двухъ силъ проходятъ не одинаковый путь.

Положимъ, что въ нашемъ примѣрѣ радіусъ вала вдвое менѣе радіуса колеса, и пусть грузъ Q равняется 100 килограммамъ. Тогда этотъ грузъ можно уравновѣсить грузомъ F, равнымъ только 50 килограммамъ, если Q помѣстить на валѣ, а F на колесѣ ворота. Грузъ F не только можетъ уравновѣшивать грузъ Q, но и поднимать его, если только предположимъ, что тренія и другихъ сопротивленій не существуетъ. Дѣйствительно, въ такомъ случаѣ достаточно было бы разъ привести воротъ въ движеніе, чтобъ онъ продолжалъ двигаться по инерціи; при чемъ грузъ F опускался бы, а грузъ Q поднимался бы. Когда грузъ F, опускаясь, проходитъ одинъ метръ, то его работа равна $50 . 1 = 50$; въ это же время Q поднимается только на $1/2$ метра. Его работа $100 . 1/2 = 50$. Двѣ эти работы имѣютъ одинаковую величину, но представляются въ разной формѣ. Вслѣдствіе вредныхъ сопротивленій грузъ Q долженъ быть менѣе, чѣмъ сколько показываетъ теорія, напр. 90 килогр., тогда полезная работа будетъ $90 . 1/2 = 45$. Слѣдов., при такомъ предположеніи пять килограмметровъ теряется на вредныя сопротивленія.

Итакъ машина преобразовываетъ работу, но не создаетъ ея; напротивъ, чрез введеніе машины не вся работа двигателя употребляется для произведенія полезнаго дѣйствія; часть ея непремѣнно утрачивается. Наконецъ, ясно что машина безъ двигателя идти не можетъ, и слѣдов. всякая мысль о машинѣ которая, однажды будучи пущена въ ходъ, поддерживала бы сама свое движеніе безъ возобновляющагося дѣйствія двигателя (perpetuum mobile), есть неосуществимая химера.

Всякую машину, подобно разобранной нами, можно разсматривать или въ состояніи равновѣсія или въ состояніи движенія. Не должно думать, что достаточно изучить условія равновѣсія данной машины, чтобы рѣшить задачу о ея движеніи. Существованіе сопротивленій которыя появляются во время движенія, дѣлаетъ такое изученіе недостаточнымъ, и можно впасть въ значительную ошибку, если ограничиться разсмотрѣніемъ только условій равновѣсія данной машины.

Если работа двигателя равна работѣ полнаго сопротивленія, то, какъ мы видѣли, движеніе машины будетъ равномѣрно.

Если работа двигателя будетъ болѣе работы полнаго сопротивленія, тогда избытокъ дѣйствія обнаружится тѣмъ, что движеніе машины не будетъ равномѣрно: произойдетъ ускореніе всей находящейся въ движеніи массы, которая, въ разсматриваемомъ нами случаѣ ворота, состоитъ изъ двухъ грузовъ и изъ тѣла самого ворота. Еслибы, наоборотъ, работа двигателя была менѣе работы сопротивленія, то произошло бы замедленіе.

При этомъ ускореніе или замедленіе движущейся массы при тѣхъ же прочихъ условіяхъ будетъ происходить тѣмъ медленнѣе, чѣмъ значительнѣе эта масса.

До сихъ поръ мы допускали, что двигатель дѣйствуетъ постоянно и разсматривали его какъ постоянную силу. Перейдемъ къ случаю, когда дѣйствіе двигателя не постоянно.

Представимъ себѣ, что колесо ворота снабжено по окружности рядомъ рукоятокъ; работникъ, взявшись за рукоятку, тянетъ колесо внизъ, поддерживая его движеніе и возобновляя свое дѣйствіе чрезъ опредѣленные промежутки времени. Пусть въ данный моментъ колесо движется съ опредѣленною скоростію и пусть въ этотъ моментъ работникъ перестаетъ дѣйствовать. Работа двигателя становится равною нулю; но движеніе еще не прекращается. Приведенная въ движеніе масса движется по закону инерціи и вѣчно продолжала бы свое движеніе, еслибы не было работы сопротивленія. Но работа сопротивленія остается; потому движеніе замедляется, и если ускоряющее дѣйствіе не будетъ возобновлено, то чрезъ нѣсколько времени совсѣмъ прекратится. Скорость движенія по прекращеніи дѣйствія двигателя будетъ ослабляться тѣмъ медленнѣе, чѣмъ значительнѣе масса, приведенная въ движеніе. Но прежде чѣмъ движеніе замедлится замѣтнымъ образомъ, работникъ возобновляетъ свое дѣйствіе. Движеніе машины ускоряется, и скорость, потерянная въ періодъ замедленнаго движенія, возстановляется мало-по-малу. Чѣмъ масса значительнѣе, тѣмъ менѣе рѣзокъ будетъ переходъ отъ замедленія къ ускоренію движенія.

Изъ этого разсужденія видно, что, если мы дадимъ колесу ворота достаточную массу, то такое колесо будетъ умѣрять переходы отъ замедленія къ ускоренію, происходящіе отъ непостоянства двигателя, періодически возобновляющаго свое дѣйствіе. Чрезъ это, на сколько возможно, достигается равномѣрность движенія машины, а равномѣрное движеніе самое удобное для машины, ибо помощію его достигается однообразіе и правильность дѣйствія и избѣгаются вредные толчки.

Колесо, присоединяемое къ машинѣ съ цѣлью регулировать ея дѣйствіе, называется *маховымъ колесомъ* и составляетъ важную часть машинъ, въ которыхъ двигатель дѣйствуетъ непостоянно. Чѣмъ значительнѣе масса и діаметръ колеса, тѣмъ труднѣе ускорить или замедлить его движеніе.

§ 451. Какъ измѣряется энергія потенціальная и кинетическая. Ихъ взаимное отношеніе. Понятіями *работа и живая сила* пользуются для измѣренія энергіи тѣлъ. Значеніе энергіи и раздѣленіе ея на два вида *потенціальную* и *кинетическую* было уже указано въ § 216 стр. 294. Здѣсь прибавимъ что потенціальная энергія тѣла измѣряется произведеніемъ дѣйствующей на него силы на путь, какой предстоитъ пройти, по ея направленію, ея точкѣ приложенія, то-есть величиною *работы*, какую способна произвести сила, если произведетъ

дѣйствіе (въ случаѣ, напримѣръ, груза P, находящагося на высотѣ H отъ земли это будетъ PH). Кинетическая энергія тѣла, то-есть теорія тѣла движущагося зависитъ, очевидно, отъ скорости тѣла и отъ его массы. За мѣру ея принимаютъ половину живой силы тѣла, то-есть $\frac{mV^2}{2}$. Мѣра эта избрана на томъ основаніи что ею объясняется эквивалентные преобразованія энергіи изъ одной формы въ другую (такъ какъ работа и живая сила связаны между собою). На слѣдующемъ простомъ примѣрѣ удобно прослѣдить значеніе энергіи въ той и другой формѣ. Тѣло вѣсъ котораго есть P находится на высотѣ H отъ земли. Его потенціальная энергія, какъ сказано, есть PH. Когда тѣло упадетъ повинуясь тяжести, то въ моментъ достиженія земли его потенціальная энергія будетъ равна нулю, но оно будетъ обладать кинетическою энергіею $\frac{mV^2}{2}$. Но такъ какъ $M=mg$; $V=gt$ и $H=\frac{gt^2}{2}$, то (§ 448) имѣемъ:

$$PH = \frac{mV^2}{2}$$

Вся потенціальная энергія преобразуется въ кинетическую.

При какой-нибудь точкѣ пути N, гдѣ $NA=h$ и слѣд. пройденный путь $MN=H-h$, уравненіе выражающее связь работы и живой силы будетъ

$$P(H-h) = \frac{mv^2}{2}$$

гдѣ v скорость въ точкѣ N. Отсюда

$$PH=Ph+\frac{mv^2}{2}.$$

Фиг. 661.

Видимъ что въ точкѣ N тѣло имѣетъ еще потенціальную энергію Ph (такъ какъ тяжести предстоитъ еще работа на протяженіи h и кинетическую энергію $\frac{mv^2}{2}$. Сумма ихъ остается постоянною во всякой точкѣ пути. Въ этомъ *сохраніе* энергія въ разсматриваемомъ случаѣ.

Когда тѣло ударяется о землю оно теряетъ пріобрѣтенную скорость, его кинетическая энергія становится равною нулю. Потенціальной энергіи оно также не имѣетъ ибо $H=o$. Энергія

слѣдов., по видимому, утратилась. Но утрата эта есть кажущаяся: кинетическая энергія тѣла только преобразовалась въ другія формы. Упавшее тѣло произвело звукъ, нагрѣваніе и другія дѣйствія.

§ 452. Приложеніе предыдущихъ разсужденій къ опредѣленію поправки въ опытѣ Джоля надъ опредѣленіемъ механическаго эквивалента теплоты. Въ опытѣ Джоля (§ 215) двойной грузъ въ 26,3 килограмма, падая съ высоты 1600,5 миллиметровъ, достигаетъ земли со скоростію 60 миллиметровъ (если бы не было тренія эта скорость была бы около шести метровъ). Какъ велика работа потребленная треніемъ? Назвавъ высоту паденія буквою H, вѣсъ груза буквою P, работу силы тяжести выразимъ величиною PH. Эта работа, если бы падающее тѣло было свободное, равнялась бы половинѣ живой силы

$$\frac{mV^2}{2}, \text{ при чемъ } m=\frac{P}{g}.$$

Отсюда скорость V могла бы быть опредѣлена и равнялась бы приблизительно 6 метрамъ. На опытѣ она равнялась только 60 миллиметрамъ; половина пріобрѣтаемой живой силы была слѣд.

$$\frac{mw^2}{2}, \text{ гдѣ } w=60 \text{ миллим.}$$

Почти вся работа потребляется треніемъ. Назвавъ работу потребляемую треніемъ и преобразующуюся въ теплоту буквою R, будемъ имѣть условіе

$$PH=R+\frac{mw^2}{2}$$

и слѣд. искомая работа R, потребляемая треніемъ и преобразующаяся въ теплоту есть

$$R=PH-\frac{mw^2}{2}.$$

Такъ какъ w очень мало, то поправка $\frac{mw^2}{2}$ весьма незначительна. Ее можно выразить иначе, положивъ $\frac{mw^2}{2}=Ph$, гдѣ h высота, падая съ которой грузъ пріобрѣлъ бы скорость w. Вычисливъ величину h будемъ имѣть для опредѣленія R условіе

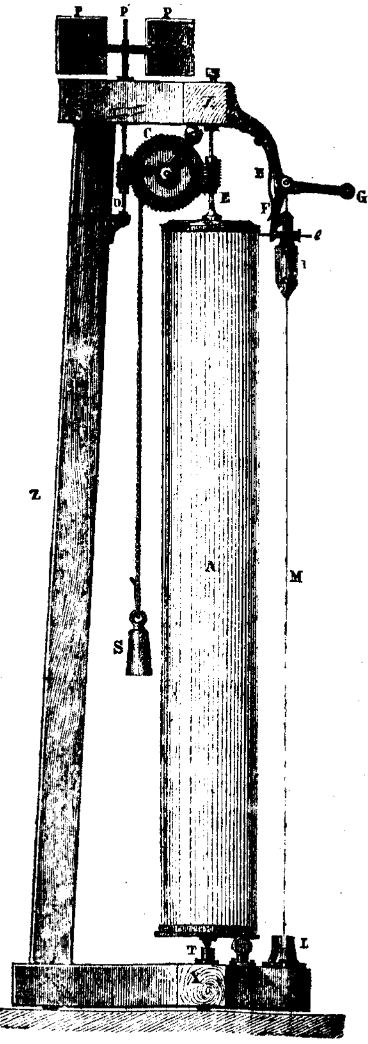
$$R=P(H-h).$$

II. Ученіе о силахъ дѣйствующихъ на большихъ разстояніяхъ.

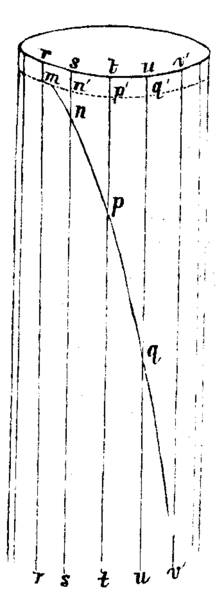
Паденіе тѣлъ.

§ 453. Изученіе законовъ паденія тѣлъ помощію машины Морена. Мы уже изучали законы движенія падающихъ тѣлъ съ помощію наклонной плоскости и Атвудовой машины. Машина Морена позволяетъ изслѣдовать законы паденія тѣлъ по вертикальному направленію, не уменьшая скорости паденія. Снарядъ Морена состоитъ изъ деревяннаго цилиндра A (фиг. 662 на сл. стр.) около $1^1/_2$ метра высоты, которому сообщается равномѣрное движеніе на вертикальной оси. Для приведенія цилиндра въ движеніе служитъ гиря, опускающаяся внизъ по своей тяжести и приводящая цилиндръ во вращеніе. Еслибы скорость движенія гири ничѣмъ не умѣрялась, то ея движеніе, а потому и движеніе цилиндра ускорялось бы болѣе и болѣе. Вѣтреница съ крыльми, вращаясь въ одно время съ цилиндромъ, умѣряетъ, вслѣдствіе сопротивленія воздуха, скорость паденія гири. Давъ крыльямъ P, P'', приличныя размѣры, можно достичь того, что движеніе гири и цилиндра сдѣлается скоро равномѣрнымъ. Поверхность цилиндра покрыта бумагой. Тѣло I состоящее изъ небольшаго желѣзнаго цилиндра помѣщается вверху снаряда и несетъ на себѣ мягкій карандашъ, или кисть съ краской, касающіеся бумаги цилиндра. Какъ скоро наблюдатель коснется ручки G, тѣло I начинаетъ падать. Чтобы во все время движенія карандашъ былъ слегка прижатъ къ бумагѣ и чертилъ линію, тѣло I падаетъ между двумя вертикальными прутьями (на чертежѣ виденъ одинъ прутъ M), представляющими собою родъ вертикальныхъ рельсовъ нисколько не затрудняющихъ паде-

ніе. Пока тѣло I находится въ покоѣ, карандашъ чертитъ кругъ $mn'p'q'$ (фиг. 663) по поверхности движущагося цилиндра, и такъ какъ движеніе этого послѣдняго равномѣрно, то равно отстоящія между собою ребра rr, ss, tt... подходятъ къ карандашу чрезъ равные промежутки времени. Если въ то время какъ цилиндръ вращается на своей оси, тѣло I падаетъ внизъ, то ребра ss, tt... будутъ встрѣчать карандашъ уже не въ точкахъ n', p',



Фиг. 662.



Фиг. 663.

q'..., но въ точкахъ n, p, q..., и карандашъ будетъ чертить не кругъ, но кривую линію $mnpq$. Очевидно, линія $n'n$ будетъ изображать пространство, пройденное падающимъ тѣломъ въ то время, когда цилиндръ успѣлъ повернуться на дугу mn, такъ что ребро ss приняло положеніе какое занимало прежде ребро rr и подошло подъ вертикальную линію, какую проходитъ карандашъ. Линія $p'p$ есть пространство, пройденное падающимъ тѣломъ въ то время какъ цилиндръ повернулся на дугу mp', которая, положимъ, вдвое больше чѣмъ дуга mn' и т. д. Другими словами равноотстоящія между собою вертикальныя линіи $n'n$, $p'p$, $q'q$... изображаютъ пространства, пройденныя падающимъ тѣломъ въ одинъ, два, три и т. д. промежутка времени. Снявъ бумагу съ цилиндра и развернувъ ее въ плоскость, дѣйствительно чертимъ на ней рядъ вертикальныхъ линій, rr, ss, tt... равноотстоящихъ между собою и притомъ такъ, чтобы одна изъ нихъ—rr проходила чрезъ начало кривой линіи $mnpq$, которую карандашъ начертилъ на бумагѣ. Легко убѣдиться, что кривая $mnpq$ есть *парабола*, ибо, измѣривъ длины $n'n$, $p'p$, найдемъ что pp' вчетверо, qq' вдевятеро разъ болѣе nn' и т. д.

А такъ какъ эти линіи выражаютъ пространства пройденныя въ одинъ, два, три и т. д. равныхъ промежутка времени, считая съ начала паденія, то заключаемъ, что *пройденныя пространства относятся между собою какъ квадраты временъ*. Извѣстный законъ *равномѣрно-ускореннаго движенія*.

§ 454. Движеніе тѣла брошеннаго по вертикальному направленію. Сила дѣйствуетъ одинаково на тѣло, находящееся въ движеніи какъ и на тѣло, находящееся въ покоѣ, и сообщаетъ тѣлу впродолженіе времени t приращаніе скорости gt. Это приращеніе прибавляется къ начальной скорости, если сила дѣйствуетъ по направленію движенія и должно отниматься отъ нея, если сила дѣйствуетъ по противоположному направленію. Послѣднее обстоятельство встрѣчается въ случаѣ тѣла, брошеннаго вверхъ по вертикальному направленію. Пусть a есть начальная ско-

рость тѣла. Скорость которую оно будетъ имѣть по прошествіи времени t, будетъ

$$v = a - gt;$$

гдѣ g есть ускореніе соотвѣтствующее свободному паденію. Но мы знаемъ, что въ случаѣ движенія, въ которомъ законъ скорости выражается этою формулою (движеніе *равномѣрно-замедленное*, § 433), законъ пространствъ выражается формулою:

$$e = at - \frac{gt^2}{2}$$

Изъ первой формулы видимъ что скорость уменьшается съ теченіемъ времени и что при $t = \frac{a}{g}$ она равняется нулю. Мы найдемъ высоту до которой тѣло достигаетъ въ этотъ моментъ, поставивъ вмѣсто t его величину $\frac{a}{g}$ въ уравненіе пространства. Получимъ

$$e = a \cdot \frac{a}{g} - \frac{g \cdot a^2}{2\ g^2} = \frac{a^2}{2g} .$$

Въ моментъ, когда тѣло достигаетъ этой высоты, его скорость равняется нулю и, повинуясь дѣйствію тяжести, оно начинаетъ падать внизъ по обыкновеннымъ законамъ паденія тѣлъ, выражаемымъ формулами

$$v = gt \text{ и } e = \frac{gt^2}{2} .$$

Пробѣжавъ снова высоту $\frac{a}{2g}$, тѣло достигнетъ земли въ точкѣ съ которой было брошено. Время, въ теченіи котораго совершается это обратное движеніе, найдемъ, поставивъ $\frac{a^2}{2g}$ вмѣсто e въ послѣднее уравненіе, выражающее пройденное пространство. Получимъ

$$\frac{a^2}{2g} = \frac{gt^2}{2}, \text{ откуда } t = \frac{a}{g} .$$

Пріобрѣтенная въ концѣ паденія скорость будетъ:

$$v = g \cdot \frac{a}{g} = a.$$

Такимъ образомъ тѣло, чтобы возвратиться внизъ, употребитъ столько же времени, сколько употребило для того, чтобы подняться вверхъ, и придетъ назадъ съ тою же скоростію съ какою было брошено вверхъ.

Замѣтимъ, что при этомъ вычисленіи мы не обращаемъ вниманія на сопротивленіе воздуха.

Если тѣло брошено не по вертикальному направленію, то, какъ мы уже видѣли, оно описываетъ параболу.

§ 455. **Маятникъ.** Маятникъ главный инструментъ служащій для изученія дѣйствія тяжести на землѣ. Простѣйшая воображаемая форма маятника есть такъ называемый *простой маятникъ*, состоящій изъ нити не имѣющей вѣса, на концѣ которой находится одна матеріальная точка имѣющая вѣсъ. Такой идеальный маятникъ называется математическимъ или простымъ въ отличіе отъ физическаго или сложнаго маятника, каковымъ можно назвать всякое тяжелое тѣло качающееся около горизонтальной оси, помѣщенной выше его центра тяжести.

Въ природѣ нѣтъ простаго маятника, но тяжелая сфера малыхъ размѣровъ повѣшенная на тонкой нити представляетъ случай близко подходящій къ теоретическому и мы сдѣлаемъ небольшую ошибку прилагая къ такому маятнику выводы изъ теоріи простаго маятника. О законахъ качанія такого тѣла уже было говорено въ §§ 37—40. Пополнимъ изложенныя тамъ свѣдѣнія.

Теорія простаго маятника приводитъ, въ случаѣ небольшихъ размаховъ, къ весьма важной формулѣ, изъ которой, какъ слѣдствія, вытекаютъ три упомянутыхъ закона качанія маятника. Эта формула выражаетъ время t одного качанія маятника, котораго длина есть l и имѣетъ видъ

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} .$$

Время t выражается въ секундахъ; π есть отношеніе

окружности къ діаметру, равное, какъ извѣстно, 3,14159...; g скорость, пріобрѣтаемая свободно падающимъ тѣломъ въ концѣ первой секунды. Длина l и скорость g должны быть выражены въ одинаковыхъ мѣрахъ. Такъ какъ въ формулу не входитъ величина размаха, то отсюда слѣдуетъ, что маятникъ большія и малыя дуги проходитъ въ одинаковое время. Подобнымъ образомъ время качанія не зависитъ отъ вѣса маятника, такъ какъ эта величина тоже не входитъ въ формулу.

Длина l входитъ въ формулу, и мы видимъ, что съ ея увеличеніемъ продолжительность одного качанія увеличивается, и что эта продолжительность прямо пропорціональна корню квадратному изъ длины маятника. Вмѣстѣ съ тѣмъ видимъ, что время одного качанія зависитъ отъ скорости паденія тѣлъ g, служащей мѣрою напряженія тяжести въ данномъ мѣстѣ земной поверхности. Продолжительность одного качанія уменьшается съ увеличеніемъ напряженія тяжести. Если бы напряженіе тяжести сдѣлалось больше, то маятникъ данной длины сталъ бы дѣлать большее число колебаній въ данное время.

Формула маятника имѣетъ особенно важное значеніе потому что помощію ея можно съ точностію опредѣлить величину g, отъ которой зависитъ рѣшеніе всѣхъ задачъ о свободномъ паденіи тѣлъ. Дѣйствительно, если изъ опыта извѣстно время t, впродолженіе котораго маятникъ данной длины l дѣлаетъ одно колебаніе, и самая длина l измѣрена съ точностію, то можно найти величину g, соотвѣтствующую мѣсту гдѣ производится наблюденіе, ибо изъ предыдущей формулы имѣемъ

$$g = \frac{\pi^2 . l}{t^2} .$$

Время t можно измѣрить съ большою точностію. Для этого достаточно счесть, сколько качаній дѣлаетъ нашъ маятникъ впродолженіе нѣкотораго болѣе или менѣе значительнаго времени. Такъ какъ, на основаніи перваго закона маятника, каждое качаніе продолжается одинаковое время, то достаточно раздѣлить время, впродолженіе котораго производится счетъ качаній, на число качаній, чтобы получить точную продолжительность одного качанія. Пусть впродолженіе времени T было N качаній, тогда время одного качанія будетъ $\frac{T}{N}$, и слѣдов.

$$g = \frac{\pi^2 . l . N^2}{T^2} .$$

Если бы на другомъ мѣстѣ земной поверхности мы замѣтили, что маятникъ той же длины l дѣлаетъ N' качаній, впродолженіе того же времени T, то заключили бы, что на этомъ мѣстѣ величина напряженія тяжести иная, именно:

$$g' = \frac{\pi^2 . l . N'^2}{T^2} \text{ и слѣдов. } \frac{g}{g'} = \frac{N^2}{N'^2} .$$

Слѣд., напряженія тяжести въ различныхъ мѣстахъ относятся между собою, какъ квадраты числа качаній, которыя маятникъ опредѣленной длины совершаетъ впродолженіе одинаковаго времени.

Если мы положимъ $t = 1''$, то l будетъ представлять длину *секунднаго маятника*, которая опредѣлится изъ формулы:

$$l = \frac{g}{\pi^2} .$$

Такимъ образомъ, если g, какъ въ Парижѣ, равно 9,8088 метр., то $l = 993{,}9$ миллим.

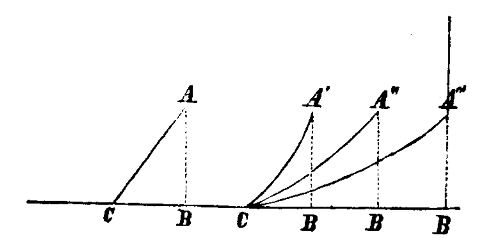
§ 456. Выводъ формулы маятника. Если бы извѣстна была скорость какую имѣетъ маятникъ въ низшей точкѣ своего пути, то легко было бы опредѣлить время его качанія, разсматривая его движеніе какъ гармоническое (§ 444). Искомую скорость можно найти на основаніи слѣдующихъ разсужденій.

Мы видѣли (§ 440), что тѣло, опускающееся внизъ по наклонной линіи пріобрѣтаетъ въ какой-нибудь точкѣ C этой линіи скорость равную той, какую, падая свободно, оно пріобрѣло бы въ точкѣ B, лежащей въ одной горизонтальной плоскости съ разсматриваемою точкою C. Величина этой скорости выражается формулою:

$$v = \sqrt{2g . AB}$$

Еслибы тѣло двигалось внизъ не по прямой наклонной линіи, но по какой-нибудь кривой линіи AC (фиг. 664), то можно доказать что и тогда скорость, пріобрѣтенная въ точкѣ C, равна скорости

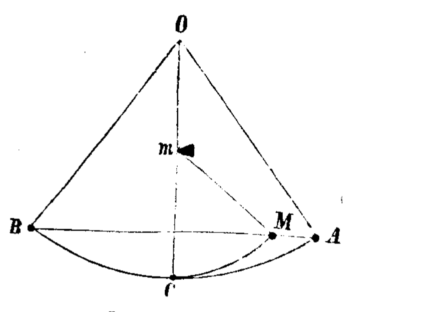
пріобрѣтаемой падающимъ тѣломъ въ точкѣ B и выражается упомянутою формулой. Направлена она по касательной къ кри-



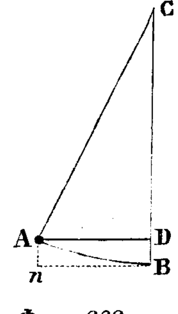
Фиг. 664.

вой въ точкѣ C. Такимъ образомъ скорость пріобрѣтаемая тѣломъ въ точкѣ C одинакова, двигается ли оно по прямой AC, или по кривымъ $A'C$, $A''C$, $A'''C$, если только точки A, A', A''... лежитъ на одной горизонтальной проскости. Если кривыя $A'C$, $A''C$, $A'''C$ имѣютъ нъ точкѣ C общую касательную, то и направленіе скорости въ этой точкѣ будетъ одинаково для всѣхъ трехъ кривыхъ. Безъ сомнѣнія при этомъ время, впродолженіе котораго тѣло достигаетъ точки C, не будетъ одинаково для различныхъ кривыхъ.

Этотъ законъ, котораго строгое доказательство дается въ механикѣ, можетъ быть оправданъ слѣдующимъ опытомъ. Если мы выведемъ маятникъ вправо до точки A (фиг. 665) и пустимъ его, то онъ опишетъ дугу AC, вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости перейдетъ точку C и под-



Фиг. 665.



Фиг. 666.

нимется влѣво до точки B, лежащей приблизительно на одной высотѣ съ точкою A, до которой маятникъ былъ выведенъ вправо. Помѣстивъ гдѣ-нибудь вправо отъ нити неподвижное препятствіе m и выведемъ тѣло маятника до точки M, находящейся въ одной горизонтальной плоскости съ точками A и B

Тогда движеніе вправо отъ вертикальной линіи будетъ происходить по дугѣ MC; влѣво же это будетъ продолжаться по прежней дугѣ BC. Если предыдущій законъ вѣренъ, то въ точкѣ C маятникъ долженъ имѣть одинакую скорость, двигался ли онъ по дугѣ AC или по дугѣ MC. Направленіе скорости также должно быть одинаково въ обоихъ случаяхъ, ибо дуги AC и MC въ точкѣ C имѣютъ общую касательную. Такимъ образомъ, маятникъ, проходя чрезъ вертикальное положеніе, въ обоихъ опытахъ находится въ совершенно одинаковыхъ условіяхъ и долженъ влѣво подниматься до одинаковой высоты B. Это дѣйствительно оправдывается опытомъ. Гдѣ бы мы ни помѣстили нрепятствіе, маятникъ влѣво поднимается до одинаковой высоты, если только вправо былъ введенъ до высоты линіи AB.

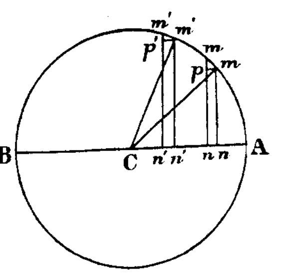
Пользуясь оправданнымъ такимъ образомъ закономъ, заключаемъ что скорость v какую имѣетъ маятникъ (фиг. 666) въ точкѣ B выразится формулой:

$$v = \sqrt{2g \,.\, An} = \sqrt{2g \,.\, DB}.$$

Если отклоненіе маятника отъ вертикальнаго положенія незначительно, то дугу AB можно принять равною хордѣ $AB = a$. Но, по свойству хорды, $AB^2 = 2CB.DB$ или $a^2 = 2l.\ DB$; $DB = \frac{a^2}{2l}$.

Слѣдов.

$$v = a\sqrt{\frac{g}{l}}$$



Фиг. 667.

Найденная такимъ образомъ скорость есть скорость равномѣрнаго движенія, знаніе котораго потребно для разрѣшенія вопроса о времени качанія маятника, если разсматривать его движеніе какъ движеніе гармоническое. Назвавъ время одного размаха отъ A до B (фиг. 667) буквою t, величину t опредѣлимъ изъ того условіе что впродолженіе этого времени тѣло движущееся равномѣрно проходитъ полкруга, діаметромъ которому служитъ длина размаха AB. Имѣемъ

$$\pi \,.\, a = a\sqrt{\frac{g}{l}} \,.\, t\ ;$$

откуда $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

§ 457. Нѣкоторые результаты наблюденій надъ маятникомъ. Точныя наблюденія надъ маятникомъ показываютъ что длина секунднаго маятника и вмѣстѣ съ нею напряженіе тяжести g имѣютъ неодинаковую величину на разныхъ точкахъ земной поверхности.

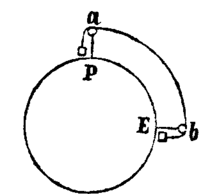
Изъ общаго свода многочисленныхъ наблюденій надъ маятникомъ выходитъ:

	Длина секунднаго маятника приведенная къ пустотѣ и уровню моря.	Скорость паденія тѣлъ (величина g).	Вѣсъ на различныхъ мѣстахъ, принимая вѣсъ въ Парижѣ за единицу.
при полюсѣ . .	996,189	9,8314	1,0023
въ Парижѣ . . .	993,900	9,8088	1,0000
подъ широтою 45°	993,520	9,8049	0,9996
на экваторѣ . .	991,027	9,7803	0,9971

Въ Парижѣ длина секунднаго маятника равняется 993,9 миллиметрамъ. Полагая $t=1$, $l=993{,}9$ въ формулѣ маятника $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, гдѣ $\pi = 3{,}14159$, найдемъ, что величина g въ Парижѣ равняется 9,809 метровъ. Слѣдов., въ Парижѣ (48°50′ сѣв. шир.) падающее тѣло въ первую секунду паденія проходитъ 4,9045 метровъ. Въ Петербургѣ длина секунднаго маятника равняется 39,17 дюймамъ или 994, 91 миллиметрамъ. Слѣд., въ Петербургѣ g равняется 32,2 фута или 9,814 метра. Падающее тѣло въ первую секунду проходитъ въ Петербургѣ 16,1 фута или 4,907 метра.

Такъ какъ величина g подъ экваторомъ менѣе чѣмъ въ полярныхъ странахъ, и тѣло подъ экваторомъ падаетъ медленнѣе, то заключаемъ что и вѣсъ тѣла $P = mg$ подъ экваторомъ менѣе чѣмъ у полюсовъ. Безъ помощи маятника было бы трудно обнаружить это уменьшеніе вѣса. Для этой цѣли нельзя пользоваться вѣсами, ибо вѣсъ разновѣсковъ уменьшается на столько же, на сколько вѣсъ взвѣшиваемаго тѣла. Еслибы могли существо-

вать вѣсы которыхъ одна чашка находилась бы подъ экваторомъ, а другая подъ полюсами, или еслибы было можно привѣсить грузы къ концамъ нити перекинутой чрезъ два блока (фиг. 668), изъ которыхъ одинъ у полюса, другой подъ экваторомъ, то грузъ помѣщенный при полюсѣ перетянулъ бы грузъ равной массы, повѣшенный при экваторѣ.



Фиг. 668.

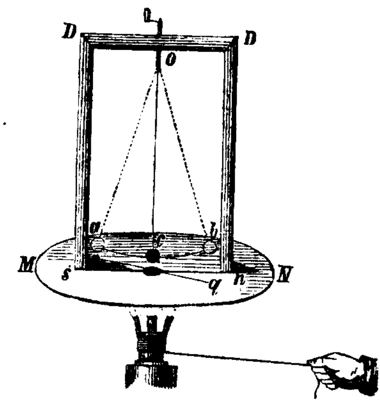
Уменьшеніе напряженія тяжести подъ экваторомъ происходитъ отъ двухъ причинъ:

1) *Отъ центробѣжной силы.* Земля обращается около оси. Точки экватора, описывающія въ сутки большой кругъ, движутся быстрѣе чѣмъ точки находящіяся ближе къ полюсамъ и описывающія малые круги. Потому центробѣжная сила подъ экваторомъ значительнѣе, чѣмъ на точкахъ, лежащихъ ближе къ полюсамъ (на самыхъ полюсахъ центробѣжная сила равна нулю). Вмѣстѣ съ тѣмъ подъ экваторомъ направленіе ея прямо противоположно направленію тяжести. Такимъ образомъ въ то время, какъ вѣсъ тянетъ тѣло внизъ, центробѣжная сила стремится удалить его вверхъ, и слѣдовательно тѣло падаетъ, повинуясь разности этихъ двухъ силъ.

2) *Отъ фигуры земли.* Тѣла падаютъ на землю оттого что притягиваются частицами земли. Земля имѣетъ фигуру эллипсоида. Теорія показываетъ, что на эллипсоидѣ притяженіе при полюсахъ значительнѣе, чѣмъ при экваторѣ.

§ 458. Неизмѣняемость плоскости качанія маятника. Опытъ Фуко. Повѣсимъ надъ плоскостью *MN* (фиг. 669) небольшой маятникъ. Нить вверху прикрѣпимъ къ головкѣ *O*. Эту головку можно крутить свободно и черезъ это закручивать самую нить. Выведемъ маятникъ изъ положенія равновѣсія и пустимъ его качаться по какому-нибудь опредѣленному направленію, напримѣръ по *mn*. Во время движенія станемъ крутить головку. Нить будетъ скручиваться; шарикъ будетъ обращаться около направленія нити, какъ около оси; но это не будетъ имѣть никакого вліянія на положеніе плоскости въ которой качает-

ся маятникъ; онъ будетъ качаться по тому направленію, по какому мы его пустили. Если вмѣсто того, чтобы крутить отдѣльно головку *O*, мы заставимъ всю плоскость *MN* обращаться около вертикальной оси, то точка привѣса нити будетъ обращаться точно также, какъ въ томъ случаѣ, когда мы ее крутили отдѣльно. И въ этомъ случаѣ крученіе точки привѣса не будетъ имѣть вліянія на плоскость качанія, и маятникъ будетъ продолжать качаться по первоначальному направленію *sn*. Но такъ какъ плоскость *NM* вращается подъ маятникомъ, то подъ направленіе его качанія будутъ подходить различныя точки такъ, что во время полнаго обращенія, всѣ линіи, которыя можно провести изъ средины плоскости *MN*, какъ изъ центра, послѣдовательно подойдутъ подъ направленіе качанія маятника. Такимъ образомъ, *относительно* плоскости *MN*, маятникъ, первоначально качавшійся по линіи *sn*, потомъ будетъ качаться по линіи *pq*, чрезъ нѣсколько времени качанія будутъ происходить перпендикулярно къ *sn*, и т. д.



Фиг. 669.

Вообразимъ, что плоскость *MN* есть полъ комнаты находящійся на сѣверномъ, напримѣръ, полюсѣ, и пусть точка привѣса *o* находится на продолженіи земной оси. Тогда маятникъ будетъ находиться совершенно въ такихъ условіяхъ, какъ въ послѣднемъ опытѣ, ибо поверхность земли подъ полюсами вращается около земной оси совершенно такимъ же образомъ, какъ плоскость *MN* вращается около вертикальной оси. Линіи *sn*, *pq* и другія будутъ представлять собою различные меридіаны, сходящіеся въ полюсѣ. Во время обращенія земли различныя точки пола будутъ подходить подъ направленіе качающагося маятника. Наблюдатель, не замѣчая движенія пола, припишетъ измѣненіе въ направленіи качанія перемѣщенію плоскости качанія, и ему будетъ казаться, что маятникъ качается послѣдовательно въ различныхъ направленіяхъ. Пущенный первоначально по *sn*, мало-по-малу, онъ отклонится отъ этого направленія, чрезъ шесть часовъ будетъ качаться по направленію перпендикулярному къ *sn*, и т. д. Такъ какъ земля обращается отъ запада къ востоку, то наблюдателю будетъ казаться, что плоскость качанія маятника отступаетъ отъ востока къ западу и въ теченіи сутокъ дѣлаетъ полный оборотъ.

Не возможно сдѣлать такой опытъ подъ самымъ полюсомъ, но и въ среднихъ широтахъ можно замѣтить отступленіе плоскости качанія отъ востока къ западу, т.-е. по направленію стрѣлки часовъ, если держать ихъ горизонтально, циферблатомъ вверхъ. Только въ среднихъ широтахъ плоскость качанія въ теченіи сутокъ проходитъ не 360°, но менѣе.

Отступленіе плоскости качанія маятника, служащее нагляднымъ доказательствомъ движенія земли около оси было открыто въ 1850 г. французскимъ ученымъ Фуко.

Подъ экваторомъ описываемаго явленія не бываетъ, и плоскость качанія сохраняетъ свое направленіе неопредѣленное время; подъ широтою 30° плоскость маятника описываетъ въ сутки 180°.

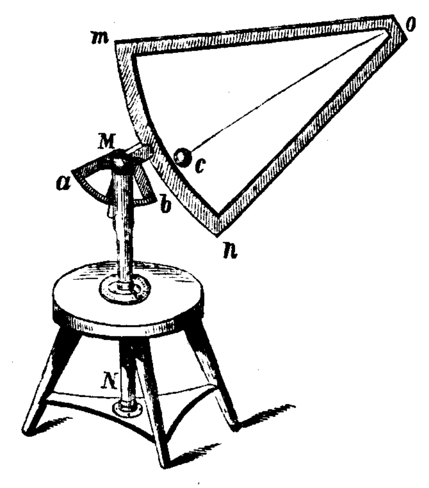
Вообще должно помножить 360° на синусъ широты мѣста, чтобы получить число градусовъ, на какое въ сутки отступаетъ плоскость качанія маятника подъ этою широтою (законъ Фуко).

Теоретическое объясненіе отступленія плоскости качанія маятника требуетъ довольно сложныхъ соображеній. Мы ограничимся описаніемъ нашего снаряда, помощію котораго можно наглядно ознакомиться съ началами, на какихъ основано объясненіе опыта Фуко, такъ какъ онъ наблюдается подъ различными широтами.

Еслибы мы взяли глобусъ и помѣстили на немъ маленькій маятникъ, то могли бы въ маломъ видѣ сдѣлать опытъ Фуко только для случая полюса. Во всякомъ другомъ положеніи нашъ маленькій маятникъ принялъ бы приличное ему вертикальное направленіе, а не направился бы къ центру глобуса. Потому мы должны отказаться отъ силы тяжести для произведенія опыта Фуко на модели, въ маломъ видѣ. Мы должны воспользоваться какою-либо иною силою, которая дѣйствовала бы на тѣло подобно тому какъ тяжесть дѣйствуетъ на маятникъ. Упругость прута, укрѣпленнаго въ верхней его точкѣ и имѣющаго на концѣ шарикъ, можетъ представить силу такого рода. Такой тонкій прутъ приличной длины и упругости представляетъ близкое подобіе маятника: выведенный изъ своего положенія равновѣсія, онъ стремится возвратиться въ прежнее положеніе и совершаетъ рядъ качаній, остающихся приблизительно въ одной плоскости. Крученіе точки привѣса какъ и въ случаѣ маятника не имѣетъ вліянія на направленіе плоскости качанія прута, остающейся неизмѣнной.

Снарядъ (фиг. 670) состоитъ изъ столика на трехъ ножкахъ, черезъ который проходитъ ось, несущая рамку съ вдѣланнымъ въ нее стальнымъ упругимъ прутомъ, имѣющимъ на концѣ шарикъ и представляющимъ родъ маятника; ось свободно проходитъ чрезъ столикъ, упираясь нижнимъ концомъ своимъ въ углубленіе перекладины, соединяющей ножки столика. Ось легко можетъ быть приведена во вращеніе съ находящеюся на ней рамкою. Эта рамка можетъ принимать различныя положенія относительно оси. Винтъ, находящійся въ томъ мѣстѣ, гдѣ рамка сочленена съ осью, позволяетъ укрѣпить рамку въ желаемомъ

положеніи. Ось снаряда представляетъ ось земли; мѣсто, гдѣ рамка сочленена съ осью, соотвѣтствуетъ земному центру. Ког-



Фиг. 670.

да рамка находится въ прямомъ положеніи, мы какъ бы на полюсѣ. Выводимъ шарикъ изъ положенія равновѣсія и осторожно выпускаемъ его изъ рукъ. Вслѣдствіе упругости прута, онъ будетъ совершать рядъ качаній по опредѣленному направленію; напримѣръ, по направленію нижней перекладины рамки. Приведя рамку во вращеніе, увидимъ, что направленіе качаній нашего маятника будетъ дѣлать уголъ съ нижнею перекладиной, ибо вращеніе рамки не имѣетъ вліянія на положеніе плоскости качанія.

Наклоняемъ рамку на 90°. Мы какъ бы подъ экваторомъ. Легко убѣдиться, что тогда нѣтъ явленія, такъ рѣзко обнаруживающагося подъ полюсомъ. Маятникъ, выведенный изъ положенія равновѣсія, по направленію нижней перекладины, или въ другомъ какомъ направленіи (напримѣръ перпендикулярно къ нижней перекладинѣ) продолжаетъ качаться по тому же направленію и во время обращенія рамки около оси.

Помѣщая рамку въ одномъ изъ среднихъ положеній, (какъ на фиг. 670) мы какъ бы подъ среднею широтой. Положеніе, при которомъ направленіе прута дѣлаетъ съ осью уголъ 60°, особенно замѣчательно. Въ такомъ случаѣ мы какъ бы подъ широтою 30°. Синусъ тридцати градусовъ равняется половинѣ; слѣдовательно, по теоріи, подъ широтою 30° плоскость маятника

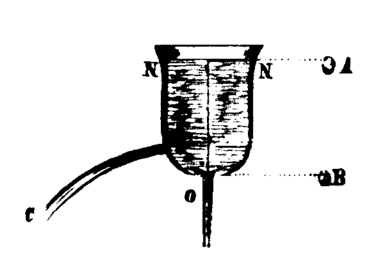
должна, въ то время какъ земля совершаетъ полный оборотъ (360°), отступить на 180° отъ своего первоначальнаго направленія, и на 90° въ то время, какъ земля совершитъ половину оборота (180°). Такое явленіе обнаруживается и на снарядѣ. Помѣстивъ рамку въ упомянутомъ положеніи, замѣтимъ, что въ то время, какъ рамка совершила половину полнаго оборота, направленіе качаній маятника, пущеннаго первоначально, напримѣръ, по нижней перекладинѣ, сдѣлалось къ ней перпендикулярнымъ, слѣд. плоскость маятника перемѣстилась на 90°. Это оправдываетъ законъ Фуко. Вѣсъ шарика и прута, при экваторіальномъ и вообще наклонныхъ положеніяхъ рамки, дѣйствуетъ какъ возмущающая причина. Прутъ немного сгибается, и шарикъ (какъ видно на фиг. 670) не приходится прямо противъ средины нижней перекладины рамки.

§ 458. Законы истеченія жидкостей. Къ тому что сообщено уже о дѣйствіи тяжести на жидкія тѣла въ первомъ отдѣлѣ курса, прибавимъ нѣсколько свѣдѣній объ истеченіи жидкости вслѣдствіе давленія верхнихъ ея слоевъ на нижніе. Если открыть отверстіе небольшой величины, сдѣланое на днѣ или въ стѣнкѣ сосуда наполненнаго жидкостію, то увидимъ, что жидкость будетъ вытекать съ опредѣленною скоростію. Масса вытекающей жидкости представляетъ близкое сходство съ тѣломъ брошеннымъ по опредѣленному направленію. Давленіе, которое частицы жидкости, находящіяся при отверстіи, испытываютъ со стороны остальной массы жидкости, соотвѣтствуетъ силѣ верженія; направленіе давленія представляетъ направленіе по которому эта сила даетъ тѣлу начальную скорость.

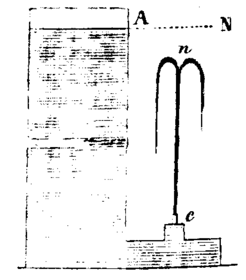
Существованіе начальной скорости легко замѣтить въ случаѣ истеченія жидкости чрезъ боковое отверстіе. Вытекающая струя (фиг. 671) образуетъ кривую линію подобную той, которую описало бы тѣло, брошенное при отверстіи A съ опредѣленною скоростію по направленію какое имѣтъ давленіе жидкости въ этомъ мѣстѣ.

Въ случаѣ если давленіе при отверстіи направлено

снизу вверхъ (фиг. 672), жидкость, повинуясь этому давленію, бьетъ вверхъ вертикальною струей, образуя фонтанъ.



Фиг. 671.



Фиг. 672.

Основываясь на опытѣ съ струей бьющею вверхъ Торричелли опредѣлилъ величину скорости истеченія жидкости, руководствуясь слѣдующими соображеніями.

Высота, до которой достигаетъ вертикальная струя, ниже продолженнаго уровня жидкости AN. Легко видѣть причины, которыя не дозволяютъ ей достичь высоты AN. Главнѣйшая изъ этихъ причинъ есть давленіе частицъ жидкости, возвращающихся внизъ, на тѣ, которыя еще поднимаются къ верху, далѣе— треніе о стѣнки отверстія, сопротивленіе воздуха. Можно допустить, что еслибы этихъ причинъ не было, то жидкость поднялясь бы до самой высоты AN Дѣйствительно, въ первый моментъ истеченія, когда первая причина еще не дѣйствуетъ, высота струи почти достигаетъ уровня AN. Можно также избѣгнуть вліянія возвращающихся частицъ, заставивъ струю бить въ нѣсколько наклонномъ направленіи. Въ такомъ случаѣ она также почти достигаетъ уровня AN. Но жидкость поднимается вверхъ вслѣдствіе той скорости, которую она получаетъ при выходѣ изъ отверстія, и можетъ быть сравнена съ брошеннымъ вверхъ тѣломъ. Заключаемъ, что скорость получаемая жидкостію при выходѣ изъ отверстія, имѣетъ такую величину, что, еслибы не было препятствій, она заставила бы выходящую жидкость подняться до высоты N. Но извѣстно, что брошенное вверхъ тѣло возвращаясь назадъ, въ концѣ паденія пріобрѣтаетъ ту самую скорость, съ какою было первоначально пущено, и если мы знаемъ высоту, до какой тѣло достигаетъ, то легко можемъ опредѣлить эту скорость. По законамъ паденія, скорость тѣла упавшаго съ высоты h, выражается формулою

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Сравнивая вытекающую жидкость съ брошеннымъ тѣломъ, можемъ сказать, что этою самою формулою выражается скорость, какую имѣетъ жидкость въ разсматриваемомъ случаѣ при выходѣ изъ отверстія c. Величина h выражаетъ вертикальное разстояніе отверстія отъ уровня жидкости въ сосудѣ и есть не что иное, какъ высота столба жидкости, которымъ выражается гидростатическое давленіе при отверстіи.

Эту теорему можно распространить на всѣ случаи истеченія и допустить вообще, что скорость, съ какою жидкость вытекаетъ чрезъ отверстіе сосуда, равняется скорости, какую пріобрѣтаетъ свободно падающее тѣло, пройдя путь равный высотѣ столба жидкости, представляющаго гидростатическое давленіе при отверстіи, или, другими словами, равный разстоянію отверстія отъ уровня жидкости въ сосудѣ. Потому слой жидкости, выходящій изъ отверстія (фиг. 671) въ тотъ моментъ, когда тѣло помѣщенное въ точкѣ B начинаетъ свое паденіе, обгонитъ это тѣло, ибо слой жидкости имѣетъ начальную скорость, выражающуюся предыдущею формулой, тѣло же начинаетъ движеніе со скоростію равною нулю. Но еслибы тѣло начало падать съ точки A, то слой, который проходитъ чрезъ отверстіе O въ тотъ мо-

ментъ, когда тѣло достигаетъ положенія B, имѣетъ ту самую скорость, какъ это тѣло.

Изъ теоремы Торричелли слѣдуетъ: 1) *скорость истеченія не зависитъ отъ плотности жидкости*: ртуть вода, спиртъ и т. д. вытекаютъ съ одинакою скоростію, если высота ихъ уровня надъ отверстіемъ одинакова; 2) *скорости истеченія относятся между собою, какъ квадратные корни изъ высотъ уровня надъ отверстіемъ*. Такимъ образомъ скорость, съ какою жидкость вытекаетъ изъ отверстія, лежащаго на 4 дециметра ниже уровня, вдвоё болѣе скорости, съ какою жидкость вытекаетъ изъ отверстія, лежащаго на 1 дециметръ ниже уровня.

Чтобы показать справедливость предыдущихъ разсужденій и оправдать теорему Торричелли, должно прибѣгнуть къ точнымъ опытамъ.

Такіе опыты удобно можно произвести надъ струей, вытекающею чрезъ боковую стѣнку. Въ случаѣ струи, текущей внизъ изъ отверстія сдѣланнаго въ днѣ сосуда, направленіе начальной скорости совпадаетъ съ направленіемъ скорости, пріобрѣтаемой вслѣдствіе паденія, и ихъ труднѣе раздѣлить между собою, чѣмъ въ случаѣ боковаго истеченія, гдѣ начальная скорость и дѣйствіе тяжести направлены различнымъ образомъ.

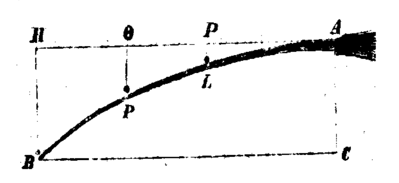
Для того чтобы наблюденіе струи можно было сдѣлать съ достаточною точностію, необходимо, чтобъ она не измѣнялась впродолженіе опыта. Другими словами, скорость истеченія должна быть постоянною. Но по мѣрѣ вытеканія жидкости изъ сосуда, ея уровень понижается, и слѣд. скорость уменьшается болѣе и болѣе. Для того чтобы скорость истеченія не измѣнялась, необходимо во все время опыта приливать жидкости въ сосудъ, такъ чтобъ уровень оставался на одинакой высотѣ.

Если отверстіе чрезъ которое вытекаетъ жидкость сдѣлано въ тонкой вертикальной стѣнкѣ или если жидкость вытекаетъ чрезъ горизонтальный каналъ, то начальная скорость имѣетъ горизонтальное направленіе. Зная высоту h уровня надъ отверстіемъ, изъ формулы $v=\sqrt{2gh}$, гдѣ $g=9{,}8$ метровъ, найдемъ какъ велика должна быть скорость истеченія, если теорема Торричелли справедлива. Положимъ, напримѣръ, что

высота уровня h равняется одному дециметру или 0,1 метра. Тогда

$$v=\sqrt{2\times 9{,}8\times 0{,}1}=1{,}4 \text{ метра.}$$

Еслибы частица жидкости, оставляя сосудъ, не была подвержена дѣйствію тяжести, то, повинуясь пріобрѣтенной скорости, она двигалась бы равномѣрно по линіи AH и, напримѣръ, чрезъ $^1/_{10}$ секунды была бы въ нѣкоторой точкѣ P, на разстояніи $AP=1{,}4\times{}^1/_{10}=0{,}14$ метра или 14 центиметровъ отъ начала движенія; чрезъ $^2/_{10}$ секунды она была бы на разстояніи $14\times 2=28$ центиметровъ отъ начала и т. д.



Фиг. 673.

Но такъ какъ на частицу дѣйствуетъ тяжесть, то чрезъ $^1/_{10}$ секунды она будетъ не въ P, но въ L, гдѣ PL есть пространство, какое эта частица прошла бы въ $^1/_{10}$, еслибы падала внизъ безъ начальной скорости, но свободно падающее тѣло въ $^1/_{10}$ секунды проходитъ пространство $\frac{g}{2}\cdot({}^1/_{10})^2=0{,}049$ метр. или 49 миллиметровъ. Измѣривъ величину вертикальнаго разстоянія PL можемъ сравнить теоретически полученную величину этой линіи съ тою, какая опредѣляется изъ опыта. Подобнымъ образомъ можно измѣрить линіи OP, HB и вообще длину цѣлаго ряда вертикальныхъ линій (ординатъ кривой линіи $ALPB$, соотвѣтствующихъ различнымъ точкамъ линіи AH, и сравнить ихъ дѣйствительную величину съ тою, которая вычислена на основаніи теоремы Торричелли. Эти измѣренія удобно можно сдѣлать, помѣстивъ по направленію AH горизонтальную перекладину и привѣсивъ на различныхъ ея точкахъ на нитяхъ небольшіе грузы (отвѣсы) до самой струи.

Можно также начертить на доскѣ параболу, какую описываетъ тѣло, брошенное горизонтально со скоростію, вычисленною по теоремѣ Торричелли, и поставивъ доску сзади струи,

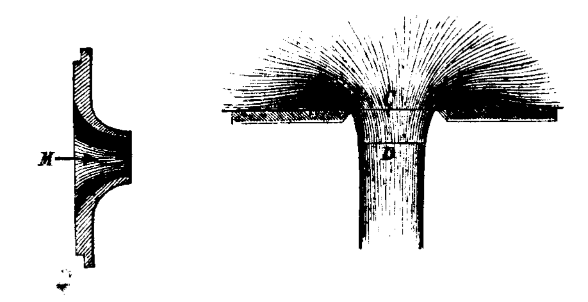
сравнить путь струи съ направленіемъ начертанной такимъ образомъ кривой линіи.

Подобнаго рода опыты даютъ результаты согласные съ теоремою Торричелли.

Въ случаѣ истеченія чрезъ дно разсмотрѣнный нами способъ повѣрки закона Торричелли не приложимъ. Но такъ какъ *количество жидкости*, вытекающей впродолженіе даннаго времени, зависитъ отъ скорости истеченія, то для изслѣдованія законовъ истеченія можно обратиться къ опредѣленію того сколько жидкости вытекаетъ въ данное время. Когда жидкость вытекаетъ изъ отверстія съ постоянною скоростію, то понятно, что количество жидкости прошедшей чрезъ отверстіе въ секунду, представляетъ собою цилиндръ, котораго основаніе есть отверстіе сосуда, а высота скорость истеченія въ секунду. Объемъ вытекшей жидкости можно сравнить съ объемомъ проволоки, которой сѣченіе равно величинѣ отверстія и которую вытягиваютъ чрезъ это отверстіе со скоростію равною скорости истеченія жидкости. Зная объемъ жидкости вытекающей въ одну секунду, можемъ опредѣлить какой объемъ вытечетъ въ 2″, 3″, вообще во время t. Помноживъ объемъ на плотность, получимъ вѣсъ вытекшей жидкости. Такимъ образомъ если площадь отверстія есть ω, то объемъ жидкости, вытекающей въ продолженіи времени t, будетъ $\omega v t$, гдѣ v опредѣляется изъ формулы: $v = \sqrt{2gh}$. Вѣсъ же этой жидкости выразится формулою: $\omega v t d$, гдѣ d плотность жидкости. Съ другой стороны, собирая вытекшую жидкость, мы можемъ опредѣлить ея вѣсъ прямымъ взвѣшиваніемъ. Если этотъ вѣсъ одинаковъ съ полученнымъ теоретически, то это будетъ служить доказательствомъ справедливости теоретическихъ соображеній на которыхъ основано вычисленіе вѣса. Оказывается, что количество дѣйствительно вытекшей жидкости или, какъ это говорится, дѣйствительный *расходъ* жидкости значительно менѣе того какой даетъ теорія. Этотъ способъ повѣрки можно приложить и къ случаю истеченія чрезъ боковую стѣнку. Вообще дѣйствительный *расходъ* жидкости, въ случаѣ истеченія чрезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ, составляетъ только 0,6 теоретическаго.

Какъ объяснить это разногласіе двухъ способовъ повѣрки закона Торричелли? Замѣтимъ, что на количество вытекающей жидкости имѣетъ вліяніе самый видъ отверстія чрезъ которое происходитъ истеченіе. Расходъ 0,6 теоретическаго относится къ случаю истеченія чрезъ отверстіе сдѣланное въ тонкой стѣнкѣ. Въ случаѣ толстой стѣнки, давъ каналу чрезъ который происходитъ истеченіе, приличную форму (въ родѣ изображенной на фиг. 674), можно значительно увеличить расходъ жидкости и довести его до 0,9 теоретическаго. Трубки приставляемыя къ отверстію имѣютъ такое же значеніе, какъ каналъ

въ толстой стѣнкѣ и также увеличиваютъ количество вытекающей жидкости.



Фиг. 674. Фиг. 675.

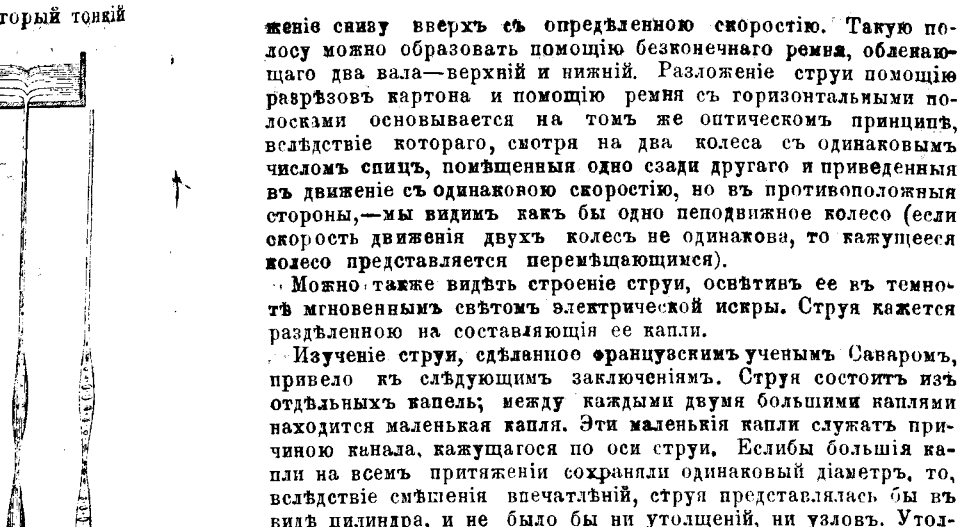
Внимательно наблюдая видъ вытекающей струи, можно открыть причину, вслѣдствіе которой дѣйствительный расходъ жидкости менѣе теоретическаго и въ различныхъ случахъ бываетъ различенъ. По выходѣ изъ круглаго отверстія, сдѣланнаго въ тонкой стѣнкѣ дна, струя (Фиг. 675) на протяженіи равномъ приблизительно половинѣ діаметра отверстія, весьма замѣтно *съуживается* и далѣе идетъ въ формѣ почти цилиндрическаго столба, весьма медленно продолжая съуживаться до того мѣста гдѣ струя начинаетъ мутиться.

Вмѣстѣ съ тѣмъ, если стѣнки сосуда прозрачны и вода мутна (что можно сдѣлать чрезъ прибавку, напримѣръ, мелко истолченнаго кирпича), легко замѣтить, что вытекающая жидкость образуетъ множество тонкихъ струй, стремящихся къ отверстію. Отъ ихъ-то столкновенія и зависитъ *сжатіе* струи.

Разсматривая струю, текущую вертикально сверху внизъ, можно замѣтить, что она состоитъ изъ двухъ рѣзко различающихся между собою частей. Верхняя—свѣтлая, прозрачная, кажущаяся неподвижною въ родѣ стеклянной палочки; ея діаметръ вначалѣ, какъ уже было сказано, быстро уменьшается, но начиная съ нѣкотораго весьма малаго разстоянія отъ отверстія, это уменьшеніе діаметра идетъ очень медленно, такъ что отъ сжатаго мѣста до конца прозрачной части струю можно считать почти цилиндрическою.

Вторая часть толще и имѣетъ мутный, неспокойный видъ. При достаточномъ освѣщеніи можно замѣтить на протяженіи этой части струи послѣдовательныя *утолщенія* и сжатія или

узлы (фиг. 676), внутри ея кажется какъ бы нѣкоторый тонкій каналъ. Въ случаѣ водяной струи эти части удобно наблюдать подкрасивъ воду. Длина и діаметръ утолщеній тѣмъ значительнѣе чѣмъ больше давленіе подъ какимъ происходитъ истеченіе, и чѣмъ больше діаметръ отверстія. Такъ, напримѣръ, при давленіи 12 центиметровъ и отверстіи въ 6 миллим. въ діаметрѣ, длина прозрачной части составляетъ около 60 центиметровъ; длина всякаго утолщенія около 30 центим., діаметръ утолщенія 1 цент. и длина узла отъ 7 до 8 миллиметровъ.



Фиг. 676.

Мутная часть струи намъ кажется непрерывною только вслѣдствіе оптическаго обмана, объясняющагося свойствомъ нашего глаза сохранять нѣкоторое время произведенное на него впечатлѣніе. Струя состоитъ изъ отдѣльныхъ капель, быстро слѣдующихъ одна за другою. Чтобъ убѣдиться въ этомъ, достаточно пересѣчь струю листомъ картона, быстро проведя его въ горизонтальномъ направленіи. Вмѣсто непрерывнаго слѣда, струя оставляетъ на картонѣ отдѣльныя пятна, показывающія тѣ мѣста, гдѣ картонъ встрѣчалъ капли, составляющія струю. Еслибы мы пересѣкли картономъ свѣтлую часть струи, то она оставила бы непрерывный слѣдъ.

Въ случаѣ ртутной струи, ея мутная часть не мѣшаетъ видѣть мелкіе предметы за нею находящіеся, что было бы невозможно, еслибъ она состояла изъ непрерывной массы жидкости.

Если, устремивъ взглядъ на какую-нибудь точку верхней части струи, мы быстро опустимъ глаза, слѣдя за движеніемъ точки, которую разсматриваемъ, то вмѣсто мутной части увидимъ довольно толстыя капли, помѣщенныя вертикально одна подъ другою и оставляющія между собою пустые промежутки, въ 8 или 10 разъ превышающіе ихъ діаметръ.

Наконецъ есть особыя оптическія средства изучать строеніе струи. Такъ, если смотрѣть на струю чрезъ разрѣзы, сдѣланные по направленію радіуса при окружности картоннаго диска помѣщеннаго между глазомъ и струей, и быстро обращаемаго съ опредѣленною скоростію, то можно видѣть струю раздѣленною на отдѣльныя капли. Той же цѣли можно достичь на болѣе значительномъ протяженіи, заставивъ струю падать передъ полосою, раздѣленною горизонтальными полосками на черные и бѣлые промежутки и приведенною въ быстрое дви-

женіе снизу вверхъ съ опредѣленною скоростію. Такую полосу можно образовать помощію безконечнаго ремня, облекающаго два вала—верхній и нижній. Разложеніе струи помощію разрѣзовъ картона и помощію ремня съ горизонтальными полосками основывается на томъ же оптическомъ принципѣ, вслѣдствіе котораго, смотря на два колеса съ одинаковымъ числомъ спицъ, помѣщенныя одно сзади другаго и приведенныя въ движеніе съ одинаковою скоростію, но въ противоположныя стороны,—мы видимъ какъ бы одно неподвижное колесо (если скорость движенія двухъ колесъ не одинакова, то кажущееся колесо представляется перемѣщающимся).

Можно также видѣть строеніе струи, освѣтивъ ее въ темнотѣ мгновеннымъ свѣтомъ электрической искры. Струя кажется раздѣленною на составляющія ее капли.

Изученіе струи, сдѣланное французскимъ ученымъ Саваромъ, привело къ слѣдующимъ заключеніямъ. Струя состоитъ изъ отдѣльныхъ капель; между каждыми двумя большими каплями находится маленькая капля. Эти маленькія капли служатъ причиною канала, кажущагося по оси струи. Еслибы большія капли на всемъ протяженіи сохраняли одинаковый діаметръ, то, вслѣдствіе смѣшенія впечатлѣній, струя представлялась бы въ видѣ цилиндра, и не было бы ни утолщеній, ни узловъ. Утолщенія и узлы происходятъ оттого, что всякая капля въ своемъ паденіи мѣняетъ форму и изъ сферической дѣлается то удлиненною, то сплюснутою. Всякая капля претерпѣваетъ эти измѣненія въ опредѣленныхъ точкахъ пути. Гдѣ капля сплюснута, тамъ утолщеніе; удлиненіе соотвѣтствуетъ узлу.

Всеобщее тяготѣніе.

§ 159. Ньютоново доказательство что дѣйствіе земной тяжести простирается до луны. Чтобы подвергнуть вычисленію задачу о движеніи тяжелаго тѣла находящагося отъ земли на разстояніи луны, необходимо предварительно разрѣшить важный вопросъ: не ослабляется ли земное притяженіе на такомъ разстояніи какъ разстояніе луны и, если ослабляется, то по какому закону.

Движеніе луны около земли можно сравнить съ движеніемъ планетъ около солнца. Размышленія, основанныя на законахъ Кеплера, привели Ньютона къ заключенію что сила, удерживающая планеты на

ихъ орбитахъ направлена къ солнцу и что напряженіе ея уменьшается *пропорціонально квадрату разстоянія* *). Допустивъ что дѣйствіе земли на тя-

*) Элементарный выводъ Ньютонови закона квадратовъ разстояній можетъ быть сдѣланъ изъ третьяго Кеплерова закона, если принять (что не слишкомъ далеко отъ истины) что планеты обращаются около солнца по кругамъ, равномѣрнымъ движеніемъ. Сравнимъ притяженіе, оказываемое солнцемъ на двѣ планеты, изъ которыхъ одна находится отъ него на разстояніи R, другая на разстояніи R'; время обращенія первой назовемъ T, второй T'.

Разсматривая движеніе какъ круговое можемъ приложить къ нему формулы § 445.

Ускореніе, которое пріобрѣла бы въ секунду первая планета, падая по прямой линіи на солнце будетъ:

$$G = \frac{4\pi^2 R}{T^2};$$

соотвѣтствующее ускореніе второй планеты будетъ:

$$G' = \frac{4\pi^2 R'}{T'^2}.$$

Слѣдов.

$$\frac{G}{G'} = \frac{R . T'^2}{R' . T^2}.$$

Но согласно третьему Кеплерову закону, квадраты временъ обращеній планетъ около солнца относятся между собою какъ кубы ихъ разстояній отъ солнца. Слѣдов.

$$\frac{T'^2}{T^2} = \frac{R'^3}{R^3};$$

потому

$$\frac{G}{G'} = \frac{R'^2}{R^2}.$$

Ускоренія G и G' можно считать мѣрою притягательнаго дѣйствія солнца на единицу массы первой и второй планеты; потому можно сказать что *притяженіе солнца уменьшается пропорціонально квадрату разстоянія*.

желое тѣло ослабляется съ разстояніемъ по тому же закону какъ дѣйствія солнца на планеты, можно приступить къ упомянутой выше задачѣ. Но здѣсь возникаетъ слѣдующее затрудненіе. Чтобы сравнить дѣйствіе земли на камень, находящійся на ея поверхности и на другой, помѣщенный на такомъ разстояніи какъ луна, надо принять въ разчетъ во сколько разъ послѣдній находится далѣе отъ земли чѣмъ первый. Но что̀ принять за разстояніе отъ земли камня помѣщеннаго на ея поверхности?

Сила съ какою земля дѣйствуетъ на камень есть сила притягательная; земля *притягиваетъ* камень подобно тому, напримѣръ, какъ магнитъ притягиваетъ желѣзо. Естественно допустить, что силы направленныя къ тѣламъ, зависятъ отъ натуры и величины этихъ тѣлъ и что притяженіе цѣлаго тѣла можно найти, приписавъ притягательное дѣйствіе каждой изъ его частицъ и слагая всѣ эти дѣйствія въ одну силу.

Разбирая теоретически, какъ должно дѣйствовать на внѣшнюю точку сумма частицъ, соединенныхъ такъ, что онѣ образуютъ однородный (или состоящій изъ однородныхъ концетрическихъ слоевъ) шаръ и допустивъ, что притяженіе каждой частицы происходитъ по упомянутому выше закону, Ньютонъ нашелъ, что общее притяженіе шара происходитъ такъ, какъ будто бы всѣ частицы (вся масса шара) были сосредоточены въ его центрѣ. Направленіе тяжести къ центру земли подтверждаетъ мысль, что притяженіе земли есть результатъ притяженія частицъ ее составляющихъ. Легко видѣть, что равнодѣйствующая всѣхъ отдѣльныхъ притяженій, дѣйствующихъ на точку помѣщенную внѣ шара должна быть направлена по линіи соединяющей эту точку съ центромъ шара, такъ какъ относительно этой линіи частицы шара расположены однообразно и для каждой частицы налѣво

найдется соотвѣтствующая направо, дѣйствующая одинаковымъ образовъ.

Такимъ образомъ за разстояніе отъ земли камня, находящагося на ея поверхности, должно принимать его разстояніе отъ центра земли, то-есть радіусъ земли; и чтобъ узнать во сколько разъ притяженіе оказываемое землею на какое-нибудь тѣло лежащее внѣ ея поверхности, будетъ менѣе притяженія оказываемаго ею на тѣло находящееся на самой поверхности, надо опредѣлить во сколько разъ радіусъ земли менѣе разстоянія разсматриваемаго тѣла отъ земнаго центра. Тогда уменьшеніе притяженія будетъ пропорціонально квадрату этого числа.

Луна находится отъ центра земли на разстояніи 60 земныхъ радіусовъ. Слѣдовательно, напряженіе тяжести на такомъ разстояніи отъ земли должно быть въ 60^2 разъ менѣе напряженія замѣчаемаго на земной поверхности. Другими словами: если камень на земной поверхности, падая, проходитъ въ секунду пространство $\frac{g}{2} = 4{,}904$ метр., то этотъ камень будучи помѣщенъ отъ земли на разстояніи луны, прошелъ бы въ первою секунду пространство $\frac{4{,}904}{60^2}$ метр. $= 0{,}001362$ метр. Принявъ въ соображеніе что тяжелыя и легкія тѣла падаютъ отъ дѣйствія тяжести съ одинакою скоростію (вслѣдствіе пропорціональности вѣса и массы), можно сказать что это самое пространство прошла бы и сама луна въ секунду, еслибъ она не имѣла начальной скорости и по прямой линіи падала на землю какъ падаетъ камень. Хотя луна, вслѣдствіе начальной скорости, и не падаетъ прямолинейно на землю, однако изъ наблюденія ея криволинейнаго пути не трудно опредѣлить какое пространство прошла бы она въ секунду по направленію силы удерживающей ее на орбитѣ, если бы сила эта дѣйствовала безъ начальной скорости. Это пространство должно быть одинаково съ вычисленнымъ. Оказывается что оно есть 0,001356 метр., число весьма близкое къ предыдущему. Такимъ образомъ можемъ заключить, что причина удерживающая луну на ея орбитѣ есть не что-иное какъ тяжесть, дѣйствующая на луну.

Приведемъ самое вычисленіе. Движеніе луны около земли можно считать совершающимся по кругу съ постоянною скоростію, и приложить формулы, выведенныя въ § 445. Если бы не было начальной скорости, то луна двигалась бы къ землѣ по прямой линіи и въ концѣ первой секунды пріобрѣла бы скорость выражающуюся формулою

$$\frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

гдѣ R радіусъ круга, описываемаго луною вокругъ земли, T время обращенія луны около земли, выраженное въ секундахъ, π отношеніе окружности къ діаметру. Пройденное въ первую секунду пространство было бы

$$\frac{2\pi^2 R}{T^2}.$$

Но $R = 60r$, гдѣ r радіусъ земли: $T = 39343 \times 60$ сек. слѣд.

$$\frac{2\pi^2 R}{T^2} = \frac{2\pi^2 r \,.\, 60}{(39343)^2 \,.\, 60^2} = \frac{2\pi r \,.\, \pi}{(39343)^2 \,.\, 60},$$

$2\pi r$ представляетъ окружность земли, заключающую въ себѣ, какъ извѣстно, 40 000 000 метровъ. $\pi = 3{,}14159$.

$$\frac{2R}{T^2} = \frac{40\,000\,000 \,.\, \pi}{(39343)^2 \,.\, 60} = 0{,}^m001356\,.$$

Это число, какъ видимъ, весьма близко подходитъ къ числу

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{g}{60^2} = 0,^m001362\,,$$

принимая g=9,8089.

§ **460. Всеобщее тяготѣніе.** Подобно тому какъ луна удерживается на своей орбитѣ притяженіемъ земли, земля и планеты вращаются вокругъ солнца, повинуясь его притяженію. Такое заключеніе, какъ показалъ Ньютонъ, есть прямое слѣдствіе законовъ Кеплера. Изъ того закона Кеплера что площади описываемыя въ равныя времена линіями соединяющими планету и солнце равны между собою, слѣдуетъ что удерживающая планету сила направлена къ солнцу; изъ того закона что путь планеты есть эллипсисъ въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце, выходитъ что сила солнечнаго притяженія по отношенію къ данной планетѣ измѣняется пропорціонально квадрату разстоянія планеты отъ солнца, уменьшаясь при удаленіи, возрастая при приближеніи. „Третій законъ Кеплера (квадраты временъ обращеній планетъ около солнца относятся между собою какъ кубы ихъ среднихъ разстояній отъ солнца) связывающій общимъ соотношеніемъ разстоянія съ временами обращеній ведетъ *) въ теоретическомъ значеніи къ важному слѣдствію. Онъ доказываетъ что *одна и та же сила*, измѣняющаяся вмѣстѣ съ разстояніемъ отъ солнца, удерживаетъ *всѣ* планеты на ихъ орбитахъ; что притяженіе солнца дѣйствуетъ безразлично на всѣ тѣла нашей системы, изъ какихъ бы веществъ они ни состояли, въ точномъ отношеніи ихъ массы; и что слѣдовательно эта сила не одинаковаго свойства съ избирательнымъ химическимъ притяженіемъ, или съ магнетизмомъ,... но есть сила болѣе общая, дѣйствующая одинаково на вещественныя частицы нашей системы, и простирающая свое вліяніе даже на другія системы міровъ... Еслибы можно было совлечь землю съ ея орбиты и бросить ее въ пространство, въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится какая-либо другая планета, и сообщить ей здѣсь направленіе и скорость послѣдней, то земля стала бы описывать ту же самую орбиту, по которой движется планета, и имѣла бы одинаковый съ нею періодъ обращенія, за исключеніемъ маленькой поправки, проистекающей отъ разности между массами земли и планеты“.

*) Дж. Гершель въ *Очеркахъ Астрономіи.*

Соединяя это заключеніе съ тѣмъ какое указано въ предыдущемъ параграфѣ, можемъ сказать, что та самая сила, повинуясь которой, планеты обращаются во кругъ солнца,—удерживаетъ луну на ея орбитѣ и заставляетъ камень падать на землю. Вся сложность явленій сводится къ одному простому началу: *всякія двѣ частицы вещества притягиваются взаимно прямо пропорціонально произведенію ихъ массъ и обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія.* Этотъ законъ называется *закономъ Ньютона.*

Притяженіе есть сила взаимная: земля притягиваетъ луну, луна притягиваетъ землю; солнце притягиваетъ планеты, онѣ притягиваютъ солнце и взаимно притягиваются; всю солнечную систему можно сравнить съ группою тѣлъ, брошенныхъ въ пространство и подверженныхъ взаимному притяженію. И если въ предыдущихъ разсужденіяхъ мы разсматривали землю по отношенію къ лунѣ, солнце по отношенію къ планетамъ какъ неподвижные центры притяженія, то это только приближенно, на томъ ос-

нованіи что масса луны по сравненію съ землею и массы планетъ по сравненію съ солнцемъ суть очень малыя величины. Въ строгомъ смыслѣ два тѣла брошенныя въ пространство и взаимно притягивающіяся оба обращаются около общаго центра тяжести; и движеніе даннаго тѣла опредѣляется всею совокупностію испытываемыхъ ими притяжеиій отъ прочихъ тѣлъ системы.

Выразимъ формулою взаимное притяженіе двухъ массъ m и m', находящихся между собою на разстояніи r. Мы знаемъ, что это притяженіе, которое назовемъ p, пропорціонально массамъ притягивающихся тѣлъ (или точнѣе произведенію массъ) и обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія. Потому его величина выразится формулою:

$$p = \frac{mm'}{r^2} f,$$

гдѣ f постоянный коеффиціентъ, означающій величину взаимнаго притяженія двухъ массъ равныхъ единицѣ и помѣщенныхъ одна отъ другой на единицѣ разстоянія (ибо при $m=1$; $m'=1$, $r=1$, будемъ имѣть $p=f$).

Пусть $m=M$ и выражаетъ массу какой-нибудь планеты, m, массу какого-нибудь тѣла, находящагося на ея поверхности, r радіусъ планеты. Въ такомъ случаѣ формула

$$p = \frac{Mm}{r^2} f$$

выразитъ *вѣсъ* тѣла m на этой планетѣ.

На другой планетѣ, которой масса M', радіусъ r', вѣсъ того же тѣла m' будетъ:

$$p' = \frac{M'm'}{r'^2} f.$$

И слѣдов.

$$\frac{p'}{p} = \frac{M'.\ r^2}{M.\ r'^2}.$$

Если M и r представляютъ массу и радіусъ земнаго шара, то p выражаетъ вѣсъ какого-нибудь тѣла на земной поверхности. Зная p, можно изъ послѣдней формулы найти вѣсъ p' того же

тѣла на другой какой-нибудь планетѣ или на солнцѣ, если только намъ извѣстны отношеніе $\frac{M'}{M}$ массы планеты или солнца къ массѣ земли, и отношеніе $\frac{r^2}{r'^2}$ квадратовъ радіусовъ земли и планеты или солнца.

Такъ какъ силы p и p' дѣйствуютъ на одну и ту же массу m', то производимыя ими ускоренія пропорціональны величинѣ самыхъ силъ. Ускореніе на землѣ есть $g = 9,8$ метр.; назвавъ ускореніе на планетѣ или на солнцѣ буквою G, будемъ имѣть:

$$\frac{G}{g} = \frac{p'}{p} = \frac{M'\ r^2}{M.\ r'^2}.$$

Отсюда

$$G = g \cdot \frac{M'.\ r^2}{M.\ r'^2},$$

формула, изъ которой можно опредѣлить скорость паденія тѣлъ на данной планетѣ или на солнцѣ.

Существованіе взаимнаго притяженія тѣлъ можно обнаружить даже между земными предметами.

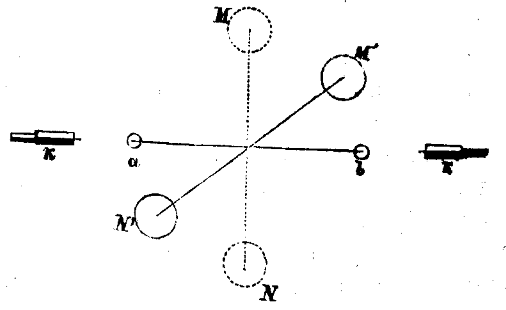
Уже Ньютонъ указывалъ на отклоненіе какое долженъ испытывать маятникъ вблизи горныхъ массъ, какъ на средство повѣрить помощію опыта справедливость теоріи всеобщаго тяготѣнія. Въ 1774 Маскелинъ*) сдѣлалъ точныя наблюденія въ Шотландіи близъ горы Шеаллинъ (Schehallien) и указалъ существованіе притяженія, оказываемаго массою горы на тѣло маятника. Направленіе нити маятника будучи продолжено вверхъ, пересѣкаетъ небесный сводъ въ точкѣ называемой зенитомъ. Геодезическая съемка всей мѣстности въ окрестностяхъ станціи, помѣщенной близъ горы, позволила вычисленіемъ опредѣлить въ какой точкѣ небеснаго свода долженъ находиться зенитъ этой станціи. При сравненіи этого положенія съ тѣмъ, какое даетъ непосредственное наблюденіе отвѣса обнаружилась замѣтная разница, объясняющаяся притяженіемъ, какое испытываетъ гиря отвѣса со стороны горной массы. Зная размѣры и составъ горы, Ма-

*) Маскелинъ (Maskelyne) англійскій ученый, извѣстный астрономъ Гринвигской обсерваторіи. Родился 1732 года, умеръ 1811.

скелинъ могъ опредѣлить ея вѣсъ и плотность. А сравнивая притяженіе горы съ притяженіемъ всего земнаго шара, можно было найти приблизительно вѣсъ и плотность нашей планеты. Оказалось, что средняя плотность земли въ пять разъ болѣе плотности воды.

Кавендишъ (Cavendish), англійскій ученый конца XVIII столѣтія, пользуясь идеей Митчеля, обнаружилъ взаимное притяженіе между большимъ свинцовымъ шаромъ и другимъ маленькимъ, помѣщенымъ близь перваго.

Легкій деревянный прутъ вѣшался на тонкой металлической нити, прикрѣпленной къ потолку закрытой комнаты. На концахъ прута (фиг. 677) были привѣшены два небольшихъ шара a и b. На прочномъ коромыслѣ MN висѣли два большихъ свиновыхъ шара. Когда коромысло MN помѣщается перпниндикулярно къ линіи ab, то большіе шары (изъ которыхъ каждый 158 килогр.) дѣйствуя одинаково на шары a и b, своимъ присутствіемъ не измѣняютъ положенія прута ab. Но какъ скоро, повернувъ коромысло, наблюдатель помѣщаетъ его въ положеніе $M'N'$, то дѣйствіе взаимнаго притяженія шаровъ M' и b, N' и a отклонитъ прутъ ab отъ его первоначальнаго положенія. Если



Фиг. 677.

бы не было крученія нити, на которой помѣщенъ прутъ ab, то маленькіе шары a и b пришли бы въ при-

косновеніе съ большими. Но какъ скоро ab выходитъ изъ первоначальнаго положенія равновѣсія, то нить закручивается и вслѣдствіе того обнаруживается сила крученія, стремящаяся возвратить прутъ въ первоначальное положеніе. Потому прутъ ab устанавливается въ такомъ положеніи, въ которомъ притяженіе шаровъ уравновѣшивается крученіемъ нити. О положеніи коромысла судятъ, направляя зрительныя трубы на пластинки изъ слоновой кости, придѣланныя къ концамъ прута и несущія мелкія дѣленія.

Должно замѣтить, что прутъ ab никогда не остается въ абсолютномъ покоѣ, но постоянно качается на право и налѣво отъ положенія равновѣсія какое онъ долженъ былъ бы занимать. Потому чтобъ опредѣлить это положеніе равновѣсія, должно брать среднее положеніе между двумя крайними какія онъ занимаетъ послѣдовательно.

Помощію такихъ опытовъ найдено, что средняя плотность земли равняется 5,67. Это число доказываетъ что вещества, составляющія ядро земнаго шара, значительно плотнѣе тѣхъ которыя составляютъ его кору. Средняя плотность твердой части земной коры не превышаетъ 2,6; а если принять въ разчетъ и жидкія части, то эта плотность оказывается не болѣе 1,5.

3) Изъ теоріи притяженія слѣдуетъ, что, по мѣрѣ углубленія въ землю, тяжесть должна уменьшаться, ибо слои, лежащіе выше какой-нибудь разсматриваемой частицы, притягиваютъ ее по противоположному направленію сравнительно съ тѣми которые лежатъ ниже. Вычисленіе показываетъ, что если разсматриваемая частица находится внутри шара на разстояніи, положимъ, a отъ центра, то притяженіе всего шара приводится только къ притяженію сферическаго ядра имѣющаго радіусомъ a; притяженіе всей части шара, заключающейся между поверхностію этой внутренней сферы и поверхностію самого шара равняется нулю.

Опыты надъ уменьшеніемъ тяжести, по мѣрѣ углубленія въ землю, были въ новое время произведены англійскимъ астрономомъ Эйри, сравнивавшимъ качанія двухъ маятниковъ, изъ которыхъ одинъ находился на земной поверхности, а другой въ руднике на глубинѣ 380 метровъ.

§ 461. Общія замѣчанія о тяготѣніи. Ученіе о тяготѣніи важно не только потому, что объясняетъ огромный кругъ явленій, но еще и потому, что внесло въ науку новое воззрѣніе на явленія, приложимое и къ другимъ областямъ. Оно утвердило въ наукѣ важное понятіе о *дѣйствіи на разстояніи.*

Вообще движенія въ природѣ происходятъ отъ взаимнаго дѣйствія тѣлъ, и тѣла дѣйствуютъ одно на другое или *при непосредственномъ прикосновеніи* (толчокъ, давленіе и т. п.) или *на разстояніи.*

Декартъ (знаменитый философъ XVII вѣка) и его послѣдователи приводили всѣ движенія къ перваго рода дѣйствіямъ *). Тѣло движется оттого что его толкаетъ другое тѣло. Такого мнѣнія держался, напримѣръ, Эйлеръ, объяснявшій происхожденіе движущей силы въ природѣ тѣмъ, что тѣло находится на пути другаго уже движущагося тѣла, и по непроницаемости не позволяетъ этому послѣднему проникнуть чрезъ свое мѣсто.

Декартъ объяснялъ движеніе планетъ тѣмъ, что онѣ увлекаются потоками тонкаго вещества, кружащагося около солнца. Причину магнитнаго притяженія Эйлеръ видѣлъ въ подобномъ потокѣ тонкаго вещества, кружащагося во кругъ магнита, входящаго чрезъ одинъ полюсъ магнита и выходящаго чрезъ другой.

Идеи Декарта, по ихъ простотѣ и казавшейся ясности механическаго представленія, долго были господствующими, особенно на материкѣ Европы (въ Англіи большинство ученыхъ слѣдовало идеямъ Ньютона). Но, при болѣе подробномъ развитіи, онѣ не привели къ ожидаемымъ результатамъ. Придумывая для объясненія даннаго случая движенія тѣла потокъ уносящаго его вещества,—потокъ, существованіе котораго ничѣмъ не доказывается,—ученые, слѣдовавшіе идеямъ Декарта, вступали въ область гипотезъ гораздо болѣе сложныхъ, чѣмъ простое представленіе о взаимномъ притяженіи или отталкиваніи тѣлъ и частицъ.

Дѣйствія, обнаруживающіяся при прикосновеніи тѣлъ, суть дѣйствія въ высшей степени сложныя. Для разъясненія ихъ, на сколько это возможно, ученые принуждены были прибѣгнуть къ тому же методу, какимъ Ньютонъ изучалъ взаимное дѣйствіе тѣлъ, и допустить, что абсолютнаго прикосновенія нѣтъ, и что явленія при прикосновеніи зависятъ отъ *взаимнаго дѣйствія частицъ на чрезвычайно малыхъ разстояніяхъ.* Это согласно съ гипотезою о тѣлѣ какъ суммѣ отдѣльныхъ частицъ, помѣщенныхъ на нѣкоторомъ разстояніи между собою.

*) Фонтенель, секретарь Парижской Академіи Наукъ, въ началѣ прошлаго столѣтія, въ *Разговорахъ о множествѣ міровъ* слѣдующимъ образомъ игриво изображаетъ характеристическія черты Декартова ученія о природѣ: „Вся философія, говоритъ онъ, основывается на двухъ только вещахъ: на томъ что мы имѣемъ любопытный умъ и дурные глаза; если бы наши глаза были лучше чѣмъ они есть, мы увидали бы суть ли звѣзды солнца освѣщающія свои міры или нѣтъ; а если бы съ другой стороны мы были менѣе любопытны, то и не интересовались бы этимъ—что̀ привело бы къ тому же. Но мы хотимъ знать больше чѣмъ сколько видимъ: вотъ въ чемъ трудность.... Я представляю себѣ природу обширнымъ зрѣлищемъ въ родѣ оперы. Съ вашего мѣста въ оперѣ вы не видите театра какъ онъ есть на самомъ дѣлѣ; декораціи и машины расположены такъ, чтобы произвести издали пріятный эффектъ; колеса и противовѣсы, помощію которыхъ производятся всѣ движенія, скрыты отъ вашего взора. Да вы вовсе и не заботитесь угадать какъ все это приводится въ дѣйствіе. И только быть-можетъ какой-нибудь машинистъ, притаившійся въ партерѣ, обезпокоится полетомъ, который покажется ему необыкновеннымъ, и захочетъ непремѣнно угадать какъ полетъ этотъ исполненъ. Вы видите, что машинистъ этотъ похожъ на философа. Но относительно философовъ трудность увеличивается тѣмъ, что въ машинахъ, какія природа представляетъ нашимъ глазамъ, веревки совершенно скрыты и скрыты такъ, что не скоро можно было догадаться что̀ производитъ движенія во вселенной. Представьте себѣ въ оперѣ мудрецовъ: Пиѳагоровъ, Платоновъ, Аристотелей, имена которыхъ нынѣ такъ громко звучатъ въ нашихъ ушахъ; положимъ, что они видятъ полетъ Фаэтона, увлекаемаго вѣтрами, не могутъ открыть веревокъ и не знаютъ расположенія театра за кулисами. Одинъ говоритъ: „Фаэтонъ увлекается нѣкіимъ скрытымъ качествомъ.“ Другой: „Фаэтонъ состоитъ изъ извѣстныхъ чиселъ которыя заставляютъ его подниматься.“ Третій: „Фаэтонъ имѣетъ извѣстное влеченіе къ верху театра; ему неловко если онъ не тамъ.“ Иной: „Фаэтонъ не устроенъ для летанія, но онъ скорѣе полетитъ чѣмъ потерпитъ пустоту вверху театра“, и сотни другихъ фантазій... Наконецъ приходятъ Декартъ и нѣкоторые изъ новыхъ и говорятъ: „Фаэтонъ поднимается, потому что его тянутъ веревки и есть грузъ болѣе чѣмъ онъ тяжелый, который въ то же время опускается.“ Такимъ образомъ теперь не вѣрятъ болѣе чтобы тѣло двигалось, если его не тянетъ что-либо, или точнѣе, если его не толкаетъ другое тѣло; не вѣрятъ, чтобъ оно поднималось или опускалось иначе какъ вслѣдствіе дѣйствія противовѣса или пружины; и тотъ кто увидѣлъ бы природу какъ она есть, увидѣлъ бы закулисную сторону театра.“

Въ настоящее время въ наукѣ господствуетъ представленіе о *дѣйствіяхъ на разстояніи*, введенное Ньютономъ и оказавшееся столь плодовитымъ въ своихъ слѣдствіяхъ.

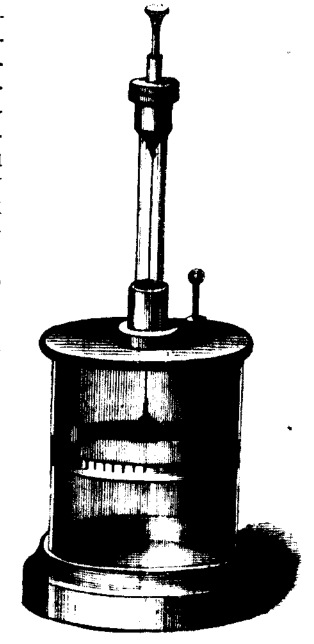
Допускаютъ, что между тѣлами или, точнѣе, между частицами существуютъ взаимныя дѣйствія для которыхъ онѣ служатъ центрами. Мы изучаемъ законы этихъ дѣйствій; ихъ причины остаются для насъ неизвѣстны. Такъ, мы знаемъ что всѣ тѣла притягиваются взаимно по закону квадрата разстояній, но не знаемъ что̀ производитъ это взаимное стремленіе тѣлъ сблизиться между собою. Многіе ученые видятъ въ этомъ первоначальное свойство матеріи.

Присоединимъ, что притягательное дѣйствіе отъ центра притяженія доходитъ до притягиваемаго тѣла, можно сказать, мгновенно. Еслибы въ данный моментъ солнце уничтожилось, то оно въ продолженіи нѣкотораго времени еще казалось бы намъ свѣтящимъ, ибо его послѣдній лучъ достигъ бы до насъ только чрезъ нѣкоторое время. Но притягательное дѣйствіе прекратилось бы вмѣстѣ съ исчезновеніемъ тѣла, и земля въ тотъ же самый моментъ пошла бы по касательной линіи. Лапласъ показалъ, что скорость распространенія тяготѣнія должна быть по крайней мѣрѣ въ пятьдесятъ милліоновъ разъ болѣе скорости свѣта. Иначе ея вліяніе обнаружилось бы въ астрономическихъ явленіяхъ.

Законы электрическихъ и магнитныхъ дѣйствій.

§ 462. Куломбово изслѣдованіе законовъ электрическихъ притяженій и отталкиваній. Для опытовъ надъ взаимнымъ отталкиваніемъ одинаково наэлектризованныхъ тѣлъ Куломбъ (1785) употреблялъ снарядъ названный имъ *крутильными вѣсами* (фиг. 678). Онъ вѣшалъ на очень тонкой серебряной нити родъ стрѣлки изъ соломенки покрытой сургучемъ и имѣвшей на однимъ концѣ бузинный шарикъ, а на другомъ, для равновѣсія и замедленія качаній, вертикальный бумажный кружокъ. Головка, на которой повѣшена нить, повертывалась такъ что нить безъ крученія помѣщала стрѣлку въ направленіи нуля дѣленій бумажной ленточки, наклеенной на цилиндръ на высотѣ стрѣлки. Дабы судить какое дѣленіе скалы соотвѣтствуетъ данному положенію стрѣлки, должно смотрѣть такъ чтобы нить и центръ бузиннаго шарика были въ одной плоскости. Чрезъ отверстіе въ крышкѣ вводится маленькій цилиндръ, котораго нижняя часть изъ шеллака съ бузиннымъ же шарикомъ на концѣ. Цилиндръ устанавливается такъ чтобы его шарикъ былъ въ прикосновеніи съ шарикомъ стрѣлки. „Электризуютъ маленькій кондукторъ, который есть не что иное какъ булавка съ большою головкой, воткнутая въ конецъ сургучной палочки; вводятъ булавку въ отвер-

стіе*) и касаются неподвижнаго шарика находящагося въ прикосновеніи съ подвижнымъ. Булавку удаляютъ; оба шарика оказываются наэлектризованными одноименнымъ электричествомъ и отталкиваются взаимно на разстояніе которое не трудно опредѣлить, смотря на дѣленіе скалы по направленію нити и центра шарика. Вертя головку нити, производятъ силу пропорціональную углу крученія и стремящуюся приблизить оттолкнутый шарикъ къ неподвижному. Наблюдаютъ этимъ способомъ на какое разстояніе различные углы крученія сближаютъ шарики, и сравнивая силы крученія съ соотвѣтствующими разстояніями, опредѣляютъ законъ отталкиванія.“ Въ одномъ изъ опытовъ первое отклоненіе по наэлектризованіи было 36°. Когда головка была повернута на 126° шарикъ стрѣлки приблизился къ неподвижному и остановился на разстояніи 18°. Когда нить была закручена на 167° шарики сблизились до $8\frac{1}{2}$°. Разстояніе шариковъ при отклоненіи 18° можно считать *вдвое* меньшимъ чѣмъ при отклоненіи 36°, при отклоненіи $8\frac{1}{2}$° *вчетверо* меньшимъ. Сила крученія стремящаяся сблизить шарики при отклоненіи 36° пропорціональна этому числу градусовъ и можетъ быть выражена числомъ 36; при отклоненіи 18° она есть 18 + то число градусовъ, на какое закручена головка, то-есть $=18+126=144$; слѣдов. *вчетверо* болѣе. При отклоненіи $8\frac{1}{2}$ сила есть $8\frac{1}{2}+567=575\frac{1}{2}$, или почти 576, то-есть *вчетверо* болѣе втораго и въ 16 разъ болѣе перваго опыта **). Отсюда слѣдуетъ что взаимное *отталкиваніе двухъ одноименно наэлектризованныхъ шариковъ* (каждый шарикъ можно разсматривать какъ одну электрическую частицу помѣщенную въ его центрѣ) *обратно пропорціонально квадрату ихъ разстоянія.*



Фиг. 678.

*) На фиг. 678 отверстіе изображено закрытымъ. Наэлектризованіе предполагается чрезъ посредство наружнаго шарика находящагося въ проводящемъ сообщеніи съ внутреннимъ.

**) Для болѣе точнаго истолкованія этихъ опытовъ надлежитъ разстояніе шариковъ считать не по дугѣ отклоненія, а по прямой линіи (хордѣ) соединяющей ихъ центры. По этой же линіи направлено и ихъ взаимодѣйствіе уравновѣшиваемое крученіемъ нити. Заключеніе получается тоже.

Для опредѣленія закона электрическихъ притяженій, Куломбъ бралъ большой шаръ изъ тонкой мѣди или изъ картона покрытаго оловомъ, въ футъ въ діаметрѣ и помѣщалъ его на хорошо изолирующей подставкѣ (шаръ покоился на четырехъ стеклянныхъ ножкахъ, имѣвшихъ при концахъ столбики изъ сургуча дюйма въ четыре длиною). Маленькая стрѣлка изъ непроводника (15 линій длиною) вѣшалась на одной шелковинкѣ взятой прямо изъ кокона (почти не имѣвшей силы крученія) и имѣла на концѣ маленькій кружокъ 8 или 10 линій въ діаметрѣ укрѣпленный перпендикулярно къ длинѣ стрѣлки. Шаръ электризовался однимъ электричествомъ, кружокъ — электричествомъ противоположнымъ. Подъ вліяніемъ притяженія разноименныхъ электричествъ, стрѣлка качалась на подобіе маятника. Въ одномъ изъ опытовъ были получены слѣдующія данныя:

Кружокъ помѣщенный въ 3 дюймахъ отъ поверхности шара, т.-е. въ 9 д. отъ центра сдѣлалъ 15 качаній въ 20″
Помѣщенный на разстояніи 18 дюймовъ отъ центра сдѣлалъ 15 качаній въ . . . . 41″
Удаленный на 24 дюйма сдѣлалъ 15 качаній въ . . . 60″

Куломбъ слѣдующимъ образомъ истолковываетъ этотъ опытъ. „Когда всѣ точки сферической поверхности дѣйствуютъ притягательно или отталкивательно, по закону квадрата разстояній, на точку помѣщенную на нѣкоторомъ разстояніи отъ этой поверхности, то, какъ извѣстно, дѣйствіе происходитъ такъ какъ еслибы вся поверхность была сосредоточена въ центрѣ сферы. Съ другой стороны, такъ какъ въ нашемъ опытѣ кружокъ былъ не болѣе 7 линій въ діаметрѣ и наименьшее разстояніе его отъ центра сферы не менѣе 9 дюймовъ, то можно безъ чувствительной ошибки принять всѣ линіи идущія отъ центра шара къ точкамъ кружка параллельными и равными, а слѣдовательно все дѣйствіе кружка представить себѣ соединеннымъ въ его центрѣ, подобно дѣйствію шара. Такимъ образомъ, при малыхъ качаніяхъ, дѣйствіе приводящее въ движеніе стрѣлку имѣетъ, для даннаго разстоянія постоянную величину и обнаруживается по направленію соединяющему два центра. Если назовемъ силу (дѣйствующую на каждый изъ полюсовъ стрѣлки) буквою f, время даннаго числа качаній буквою T, то T должно быть пропорціонально $\frac{1}{\sqrt{f}}$ *). Но если d есть разстояніе центра шара отъ центра

*) По аналогіи съ маятникомъ, гдѣ время T соотвѣтствующее n качаніямъ, выражается формулою $T = nt = n\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ и слѣд. пропорціонально для даннаго маятника $\frac{1}{\sqrt{g}}$, величина же g есть мѣра дѣйствія тяжести на данную массу.

кружка и если притяженіе дѣйствуетъ обратно пропорціонально квадрату разстояній (то-есть f пропорціонально $\frac{1}{d^2}$), то отсюда слѣдуетъ что T должно быть пропорціонально просто d или разстоянію. Такимъ образомъ въ нашихъ опытахъ продолжительность пятнадцати качаній должна измѣняться пропорціонально разстоянію центровъ. Сравнимъ теорію съ опытомъ.

При разстояніе центровъ на 9 дюймовъ, 15 качаній въ 20″
" " 18 " " " 41″
" " 24 " " " 60″

Разстоянія относятся между собою какъ 3, 6, 8
Времена того же числа качаній 20, 41, 60
По теоріи должно быть 20, 40, 54

„Такимъ образомъ въ трехъ испытаніяхъ разница между теоріею и опытомъ простирается до 1/10 въ послѣднемъ сравнительно съ первымъ. Но должно замѣтить, что требовалось около четырехъ минутъ для производства трехъ испытаній, и хотя въ день опытовъ электричество долго сохранялось, оно однако же теряло 1/40 дѣйствія въ минуту.“ Этимъ объясняется указанная небольшая разница.

§ 463. Зависимость электрическихъ дѣйствій отъ количества взаимодѣйствующихъ электричествъ. Изслѣдованіе зависимости электрическихъ взаимодѣйствій отъ количества электричества или отъ *электрической массы* дѣйствующихъ частицъ производится на основаніи того очевиднаго положенія, что въ двухъ равныхъ приведенныхъ въ прикосновеніе металлическихъ или иныхъ проводящихъ шарикахъ, изъ коихъ только одинъ наэлектризованъ, электричество распредѣляется поровну, такъ что на каждомъ оказывается половина того количества m какое было на первоначально наэлектризованномъ. Пусть, напримѣръ, въ опытѣ съ крутильными вѣсами подвижный наэлектризованный шарикъ отталкивается наелектризованнымъ неподвижнымъ съ такою силою что при извѣстномъ закрученіи нити подвижный удерживается на разстояніи 30° отъ неподвижнаго. Можно доказать что сила отталкиванія пропорціональна величинѣ $\frac{mm'}{r^2}$, гдѣ m количество электричества на неподвижномъ (масса электрической частицы какъ бы сосредоточенной въ центрѣ) m' на подвижномъ шарикѣ, r разстояніе. Дѣйствительно, коснемся неподвижнаго шарика другимъ совершенно съ нимъ одинаковымъ и удалимъ послѣдній; масса m сдѣлается, согласно сказанному, вдвое меньше. Сила слѣдов. будетъ $\frac{1}{2}\frac{mm'}{r^2}$ какъ и можно убѣдиться помощію опыта: крученіе надлежитъ ослабить вдвое чтобы сохранить тотъ же уголъ отталкиванія.

Подобнымъ пріемомъ можно массу m' уменьшить вдвое; сила
уменьшится еще вдвое и будетъ четверть первоначальной
и т. д.

§ 464. Куломбово изслѣдованіе законовъ магнитныхъ дѣйст-
вій. Куломбъ бралъ длинную стальную проволоку въ 25 дюй-
мовъ длины и очень короткую магнитную стрѣлку (около дюй-
ма длиною). Проволока была тщательно намагничена. и опытъ
показалъ что магнитное напряженіе ея сосредоточено на протя-
женіи двухъ или трехъ дюймовъ при концахъ. такъ что
центръ дѣйствія (полюсъ) каждой половины находился прибли-
зительно на разстояніи 10 линій отъ конца. Полюсы стрѣлки
были на разстояніи 1 или 2 линій отъ концевъ. Такимъ об-
разомъ какъ стрѣлку такъ и проволосу можно было разсматривать
какъ совокупность двухъ полюсовъ, какъ бы двухъ магнитныхъ
частицъ помѣщенныхъ одна отъ другой въ стрѣлкѣ на разстоя-
ніи около дюйма, въ проволокѣ около 25 дюймовъ. Взаимодѣй-
ствіе проволоки и стрѣлки приводится слѣдов. къ четыремъ си-
ламъ: двѣ отталкивательныя между одноименными. двѣ притяга-
тельныя между разноименными полюсами. Чтобъ опредѣлить
какъ измѣняется величина этихъ силъ въ зависимости отъ раз-
стоянія, Куломбъ помѣщалъ стрѣлку на разныхъ разстояніяхъ
отъ вертикально поставленной въ магнитномъ меридіанѣ маг-
нитной проволоки (кверху полюсомъ противоположнымъ съ
ближайшимъ полюсомъ стрѣлки) такъ чтобы горизонтальная
плоскость проходящая чрезъ стрѣлку пересѣкала проволоку
на 10 линіяхъ разстоянія отъ ея верхняго конца. Такъ какъ
нижній полюсъ былъ сравнительно далеко отъ стрѣлки, то его
дѣйствіемъ можно было пренебречь и разсматривать только дѣй-
ствіе верхняго полюса, приводящееся къ двумъ силамъ: при-
тяженіе ближайшаго и отталкиваніе дальнѣйшаго полюсовъ
стрѣлки. Такъ какъ стрѣлка весьма коротка, то силы можно
было считать равными и при уклоненіяхъ стрѣлки постоян-
ными по величинѣ и направленію (пара силъ). Стрѣлка выво-
дилась изъ положенія равновѣсія и опредѣлялось число ея ка-
чаній въ минуту. Опытъ далъ слѣдующія числа:

1.) Свободная стрѣлка, качаясь подъ вліяніемъ толь-
ко земнаго магнетизма, дѣлала 15 качаній въ . . 60″
2.) Когда проволока была въ разстояніи 4 дюймовъ
отъ средины стрѣлки стрѣлка дѣлала 41 кач. въ 60″
3.) При разстояніи 8 дюймовъ 24 кач. въ . . . . 60″
4.) При разстояніи 16 дюймовъ 17 кач. въ . . . . 60″

Въ случаѣ маятника величина силы производящей качанія
пропорціональна квадрату числа качаній. Этотъ законъ, какъ
показываетъ теоретическое разсмотрѣніе вопроса, имѣетъ мѣ-
сто и въ разсматриваемомъ случаѣ качаній магнитной стрѣл-
ки и сила P дѣйствующая на одинъ изъ полюсовъ стрѣлки,
какъ, и равная ей $-P$ дѣйствующая на другой, пропорціональ-

ны квадрату числа качаній. Въ первомъ опытѣ сила P есть
дѣйствіе земли, которое назовемъ буквою F, во второмъ и
слѣдующихъ опытахъ P есть сумма дѣйствія земли и дѣйствія
полюса N проволоки: то-есть $F+F_1$ во второмъ опытѣ, $F+F_2$
въ третьемъ, $F+F_3$ въ четвертомъ. Назвавъ число качаній въ
первомъ, второмъ, третьемъ и четвертомъ опытахъ буквами
N, N_1, N_2, N_3, будемъ имѣть

$$\frac{F+F_1}{F}=\frac{N_1^2}{N^2}\,,\ \frac{F+F_2}{F}=\frac{N_2^2}{N}\,,\ \frac{F+F_3}{F}=\frac{N_3^2}{N^2}\quad\text{или}$$

$$\frac{F_1}{F}=\frac{N_1^2-N^2}{N}\,,\ \frac{F_2}{F}=\frac{N_2^2-N^2}{N^2}\,,\ \frac{F_3}{F}=\frac{N_3^2-N^2}{N^2}\,.$$

Другими словами силы F_1, F_2, F_3 пропорціональны разно-
стямъ $N_1^2-N^2$, $N_2^2-N^2$, $N_3^2-N^2$. Въ описанныхъ опытахъ
имѣемъ слѣдовательно

2) При разстояніи 4 дюймовъ . . . . $= 41^2-15^2=$ 1456
3) „ „ 8 . . . . $= 21^2-15^2=$ 351
4) „ „ 16 . . . . $= 17^2-15^2=$ 64

Числа втораго и третьяго опыта весьма близко оправдыва-
ютъ законъ квадрата разстояній. Разстояніе въ третьемъ
опытѣ *вдвое* болѣе чѣмъ во второмъ; сила F_2 пропорціональная
числу 351 приблизительно *вчетверо* менѣе силы F_1, выражаю-
щейся числомъ 1456. Сила F_3 должна быть въ $4^2=16$ раза ме-
нѣе силы F_1. Полученное на опытѣ число 64 слишкомъ мало,
ибо составляетъ менѣе чѣмъ 22 долю числа 1456. Это объя-
сняется отчасти тѣмъ, что въ четвертомъ опытѣ и нижній
полюсъ оказывалъ замѣтное вліяніе. Принявъ въ расчетъ его
дѣйствіе Куломбъ. нашелъ что онъ почти на пятую долю
уменьшилъ число колебаній, такъ что число которое получилъ
бы если бы нижній полюсъ былъ достаточно далеко, было бы
79. Это число въ 18 разъ менѣе 1456, что довольно уже близ-
ко къ требуемой теоріею шестнадцатой доли. Различіе объ-
ясняется тѣмъ что въ опытахъ участвовало дѣйствіе магне-
тизма чрезъ вліяніе.

Для опредѣленія того же закона въ случаѣ отталкиванія
Куломбъ прибѣгъ къ другой методѣ: методѣ крученія подоб-
ной той какою пользовался для вывода закона электрическихъ
дѣйствій.

Наиболѣе точное оправданіе закона квадрата разстояній
можно получить, наблюдая небольшія отклоненія короткой
стрѣлки (метода Гаусса) отъ дѣйствія магнита помѣщаемаго
на довольно значительныхъ разстояніяхъ и въ разныхъ поло-
женіяхъ относительно стрѣлки.

III. Силы дѣйствующія на очень близкихъ разстояніяхъ.

§ 465. Общее понятіе о частичныхъ силахъ. Приведя планетныя движенія къ одной силѣ тяготѣнія причины которой намъ неизвѣстны, но которая дѣйствуетъ по извѣстному закону, Ньютонъ желалъ перенести тотъ же пріемъ изслѣдованія въ область и другихъ физическихъ явленій. Въ концѣ предисловія къ *Началамъ* онъ говоритъ слѣдующія слова: „Я вывелъ, съ помощію математическихъ соображеній, движеніе планетъ изъ дѣйствующихъ на нихъ силъ. Желательно было бы и другія явленія природы объяснить изъ механическихъ началъ помощію того же способа разсужденія. Многія соображенія побуждаютъ меня догадываться, что явленія эти зависятъ отъ нѣкоторыхъ силъ, которыми частицы тѣлъ, вслѣдствіе причинъ намъ еще неизвѣстныхъ, гонятся одна къ другимъ и соединяются въ правильныя фигуры, или сталкиваются взаимно и убѣгаютъ однѣ отъ другихъ: и именно отъ незнанія этихъ силъ происходили неудачи ученыхъ въ дѣлѣ испытанія природы." Это предпріятіе, начало которому положилъ Ньютонъ, было продолжено его преемниками, и наука (особенно въ концѣ прошедшаго и въ началѣ нынѣшняго столѣтія) обогатилась цѣлыми новыми отдѣлами, въ основѣ математической обработки которыхъ положена мысль о взаимныхъ дѣйствіяхъ частицъ, или другими словами о *мелекулярныхъ силахъ*.

Мы переносимъ въ міръ частицъ тѣ понятія которыя пріобрѣтаемъ чрезъ изученіе тѣлъ: разсуждаемъ о мірѣ частицъ такъ какъ если бы это былъ міръ малыхъ тѣлъ. Краткій очеркъ явленій зависящихъ отъ *частичныхъ силъ* начнемъ съ явленій, наблюдаемыхъ при соприкосновеніи тѣлъ: явленій удара, тренія, прилипанія.

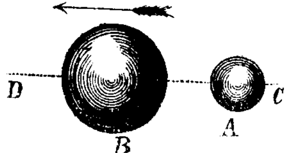
§ 466. Явленія удара тѣлъ. Ударъ, со времени Декарта, многими учеными разсматривался какъ первоначальное явленіе, „удалившись отъ котораго (по выраженію Кювье) мы не можемъ составить ясной идеи объ отношеніяхъ между причиной и дѣйствіемъ" въ физическомъ мірѣ. Согласно воззрѣніямъ такого рода „малѣйшимъ частицамъ принадлежитъ одно основное качество—непроницаемость, и онѣ оказываютъ взаимное дѣйствіе лишь потому что, находясь въ движеніи, вытѣсняютъ одна другую". Эйлеръ, учившій такимъ образомъ, спрашивалъ: „неужели должны мы допустить что кромѣ матеріи и духа есть третья форма бытія: сила?"

Согласно воззрѣніямъ нынѣ господствующимъ, основное начало, къ какому сводится объясненіе физическихъ явленій, есть *дѣйствіе на разстояніи* (притяженіе и отталкиваніе). Частицы не приходятъ въ непосредственное прикосновеніе; явленія прикосновенія суть только явленія значительной близости. Вещественный міръ не есть міръ несвязанныхъ пылинокъ, отъ начала получившихъ и нынѣ сохраняющихъ извѣстный запасъ движенія преобразующагося, вслѣдствіе столкновеній и непроницаемости, въ разные виды. Это міръ пылинокъ, между которыми существуютъ взаимодѣйствія—притяженія и отталкиванія. Въ идеальномъ механическомъ построеніи физическаго міра должно принимать въ расчетъ какъ существующее движеніе такъ и дѣйствующія силы. Самое явленіе удара есть явленіе далеко не элементарное, а напротивъ весьма сложное, при точномъ разборѣ котораго необходимо прибѣгать къ идеѣ частичныхъ силъ дѣйствующихъ на разстояніи.

Мы ограничимся лишь самымъ элементарнымъ об-

зоромъ явленій этого рода въ простѣйшихъ случаяхъ.

Допустимъ, что два шара (фиг. 679) движутся по одному направленію, и что шаръ A движется быстрѣе нежели идущій передъ нимъ B и догоняетъ этотъ послѣдній. Обратимъ вниманіе на явленія, какими сопровождается это столкновеніе двухъ шаровъ.



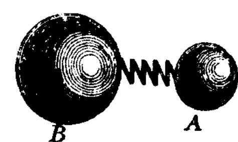
Фиг. 679.

Шаръ A, достигнувъ шара B, давитъ на встрѣчаемыя имъ первыя частицы этого послѣдняго и ускоряетъ ихъ движеніе. Это ускореніе передается мало по малу всей массѣ шара B. Но эта передача не можетъ совершиться мгновенно. Первыя частицы, получающія ударъ, пріобрѣтаютъ приращеніе скорости въ то время, когда оно еще не успѣло сообщиться всему тѣлу B, и слѣдовательно, приближаются къ центру. Съ другой стороны переднія частицы шара A, первыя которыя касаются шара B, замедляются въ своемъ движеніи въ то время какъ это замедленіе не успѣло еще сообщиться всему шару, и, слѣдов., также приближаются къ центру своего шара. Отсюда происходитъ измѣненіе формы обоихъ шаровъ: они становятся сплюснутыми. Пока скорость шара A превышаетъ скорость шара B, и, слѣдов., A продолжаетъ толкать B, измѣненіе формы продолжается,— пока наконецъ оба шара получаютъ одинаковую скорость.

Съ этого момента явленіе происходитъ различнымъ образомъ, смотря по свойствамъ ударяющихся тѣлъ. Если эти тѣла такого рода, что измѣненія ихъ формы остаются, то дѣйствіе силъ обнаруживающихся при ударѣ оканчивается съ того момента какъ оба тѣла пріобрѣли одинаковую скорость: тогда они движутся съ общею скоростію, не производя дѣйствія одно на

другое. Такъ бываетъ съ тѣлами *неупругими*, каковы, напримѣръ, свинцовые шары. Но если ударяющіяся тѣла *упруги*, то ударъ еще не оканчивается, когда они получаютъ общую скорость. Упругія тѣла стремятся возстановить свою измѣненную форму, и если они *совершенно упруги*, то дѣйствіе, обнаруживающееся въ эту вторую половину удара, оказывается равнымъ тому, которое въ первую половину произвело измѣненіе формы.

Слѣдующимъ способомъ можемъ мы объяснить нагляднѣе явленія происходящія во время удара тѣлъ. Вообразимъ что между ударяющимися тѣлами находится пружина (фиг. 680), эта пружина, пока шаръ A движется быстрѣе чѣмъ B, сжимается болѣе и болѣе и болѣе. Допустимъ, что она можетъ только сжиматься, но, будучи сжата, не стремится придти въ прежнее состояніе. Будемъ имѣть случай неупругаго тѣла. Но если пружина упругая, то какъ скоро прекращается дѣйствіе сжимающей ее причины, она снова расширяется, производя давленіе въ обѣ стороны съ силою равною той, которая произвела сжатіе.



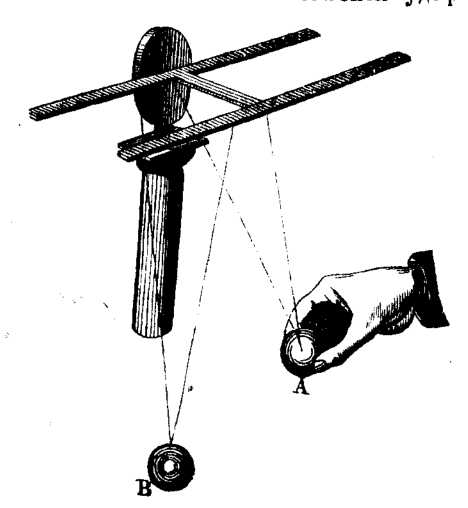
Фиг. 680.

Описываемыя нами явленія совершаются въ очень краткій промежутокъ времени, ускользающій отъ непосредственнаго наблюденія: мы застаемъ тѣла когда ударъ уже кончился и болѣе изучаемъ скорости, какія они получаютъ послѣ удара, чѣмъ силы обнаруживающіяся во время ихъ столкновенія.

Замѣтимъ также, что въ природѣ нѣтъ ни совершенно упругихъ, ни совершенно неупругихъ тѣлъ. Потому законы выводимые для этихъ двухъ идеальныхъ случаевъ, только до нѣкоторой степени оправдываются явленіями наблюдаемыми въ природѣ; при чемъ одни тѣла приближаются болѣе къ случаю не-

упругихъ, другія къ случаю упругихъ. Свинцовые, глиняные шары могутъ служить примѣромъ тѣлъ перваго рода; какъ примѣръ упругихъ тѣлъ, при опытахъ, удобно употреблять шары изъ слоновой кости.

Снарядъ изображенный на фиг. 681 можетъ служить для показанія главныхъ явленій удара тѣлъ.



Фиг. 681.

Если два неупругихъ шара *равной массы* движутся одинъ противъ другаго съ *равною скоростію*, то послѣ столкновенія они остаются въ покоѣ: движеніе одного уничтожается движеніемъ другаго. Въ случаѣ упругихъ шаровъ явленіе происходитъ иначе. Послѣ краткаго промежутка времени, впродолженіе котораго шары прижимались одинъ къ другому, измѣняя взаимно свою форму, наступаетъ вторая половина удара, и сила упругости, возстановляющая форму, обнаруживаетъ свое дѣйствіе тѣмъ, что отталкиваетъ шары одинъ отъ другаго. Шары удаляются одинъ одинъ отъ другаго, и это *отраженіе* происхо-

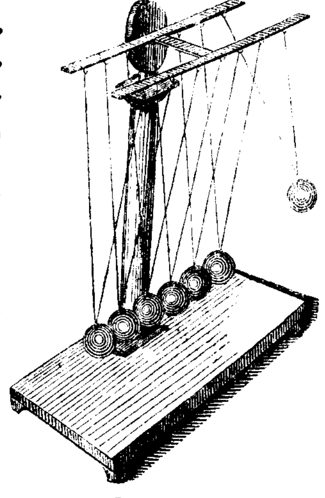
дитъ съ тою же скоростію, съ какою они приближались одинъ къ другому.

Если до удара одинъ упругій шаръ двигался скорѣе другаго, то послѣ удара они обмѣниваются скоростями; такимъ образомъ если шаръ *A* былъ до удара отклоненъ вправо на 10° отъ вертикальной линіи, а шаръ *B* на 20°, то послѣ удара (который совершится въ моментъ, когда они оба придутъ въ вертикальное положеніе) они, обмѣнявшись скоростями, отразятся: шаръ *A* возвратится вправо и поднимется приблизительно на 20°, шаръ *B* влѣво на 10°.

Если неупругій шаръ находится въ покоѣ, и его ударяетъ другой *равный* ему шаръ, то ударяющій шаръ теряетъ часть своей скорости, пріобрѣтаемую ударяемымъ, и послѣ удара они движутся вмѣстѣ со скоростію, равною половинѣ той какую ударяющій шаръ имѣлъ до удара. Не такъ происходитъ явленіе въ случаѣ упругихъ шаровъ. Вначалѣ, до того момента, когда оба шара пріобрѣтаютъ одинаковую скорость, оно происходитъ такъ же какъ и въ случаѣ неупругихъ шаровъ. Но съ этого момента начинается дѣйствіе упругости. Для шара ударяющагося оно обнаруживается въ сторону противоположную его движенію; для шара ударяемаго въ ту же сторону въ какую онъ пріобрѣлъ движеніе отъ полученнаго толчка. Такимъ образомъ если скорость ударяющаго шара была v, то впродолженіе первой половины удара онъ утратитъ $\frac{1}{2}v$ и еще столько же потеряетъ отъ дѣйствія упругости во вторую половину. Слѣдовательно послѣ удара онъ останется въ покоѣ. Шаръ ударяемый пріобрѣтаетъ въ первую половину удара скорость $\frac{1}{2}v$ и столько же придаетъ ему упругость во вторую половину. Слѣдовательно, послѣ удара онъ будетъ имѣть скорость v, какую ударяющій шаръ имѣлъ до удара. Всѣ эти дѣйствія произойдутъ въ очень краткій промежутокъ времени, и

мы замѣтимъ только ихъ результатъ, а именно: ударяющій шаръ послѣ удара останется въ покоѣ, передавъ всю свою скорость ударяемому шару.

Помѣстивъ рядомъ нѣсколько упругихъ шаровъ, мы можемъ сдѣлать опытъ съ передачею удара въ слѣдующей любопытной формѣ. Выводимъ крайній шаръ (фиг. 682) изъ его положенія равновѣсія и выпускаемъ его изъ рукъ. Возвращаясь назадъ, онъ даетъ ударъ всей системѣ. Еслибъ эта система состояла изъ ряда неупругихъ шаровъ, наприм. свинцовыхъ, то она вся получила бы отъ удара небольшое движеніе, котораго скорость зависѣла бы отъ массы всѣхъ шаровъ сравнительно съ массою ударяющаго шара. Но если шары упругіе (изъ слоновой кости), то послѣ удара вся система остается въ покоѣ, и только крайній шаръ отскакиваетъ, поднимаясь на высоту, которая была бы равна той, съ какой пущенъ ударяющій шаръ, еслибы система состояла изъ тѣлъ, совершенно упругихъ. Въ этомъ опытѣ движеніе передается послѣдовательно отъ одного шара къ другому; всякій шаръ, исключая послѣдняго, остается на своемъ мѣстѣ и только измѣняетъ свою форму, вначалѣ сжимаясь, а потомъ возстановляя свой прежній видъ и производя дѣйствіе на шаръ слѣдующій за нимъ. Такая передача дѣйствія требуетъ опредѣленнаго времени, но въ случаѣ нѣсколькихъ шаровъ мы не можемъ его замѣтить, по его краткости. Этотъ опытъ важенъ, ибо подобная передача движенія мо-



Фиг. 682.

жетъ совершаться не только въ системѣ состоящей изъ отдѣльныхъ упругихъ тѣлъ, но и въ самой толщѣ упругаго тѣла. Подобнымъ образомъ звукъ распространяется въ воздухѣ и другихъ тѣлахъ.

Пользуясь закономъ дѣйствія равнаго противодѣйствію и разсматривая ударяющіяся тѣла какъ двѣ матеріальныя точки имѣющія массы m и m', не трудно, въ общемъ видѣ, вывести величину скорости, какую послѣ удара имѣетъ тѣло сталкивающееся съ другимъ. Начнемъ съ случая тѣлъ *неупругихъ*. Пусть тѣло имѣющее массу m и скорость v, сталкивается съ другимъ имѣющимъ массу m' и скорость v'. Столкновеніе становится источникомъ силы F, дѣйствующей короткое время пока длится ударъ, и толкающей съ равнымъ напряженіемъ первое тѣло въ одну второе въ другую сторону. Дѣйствіемъ этой силы измѣняется скорость какъ перваго такъ и втораго тѣла и, какъ мы видѣли, они пріобрѣтаютъ общую скорость, которую назовемъ x. Мѣрою силы F можетъ служить какъ количество движенія сообщенное первому тѣлу, (то-есть измѣненіе его скорости помноженное на массу) такъ и количество движенія сообщенное второму тѣлу (время дѣйствія одинаково). Другими словами имѣемъ условіе: $m(v-x)=m'(x-v')$, откуда

$$x=\frac{mv+m'v'}{m+m'}.$$

Въ случаѣ *упругихъ* тѣлъ, явленіе не оканчивается въ моментъ когда тѣла пріобрѣли общую скорость x. Обнаруживается сила упругости равная (предполагаемъ тѣла совершенно упругими) по величинѣ силѣ F но противуположно направленная и измѣняющая скорость x перваго тѣла на нѣкоторую скорость y, скорость x втораго тѣла на нѣкоторую скорость y'. Какія должны быть эти скорости не трудно найти. Скорость y должна быть такова чтобы количество движенія $m(x-y)$ было мѣрою силы F (измѣряющейся съ другой стороны величиною $m(v-x)$) и слѣдовательно чтобы было исполнено условіе $m(x-y)=m(v-x)$. Отсюда $y=2x-v$. Или, вставивъ предыдущую величину x, найдемъ

$$y=\frac{2m'v'+(m-m')v}{m+m'}.$$

Подобнымъ образомъ найдемъ для втораго тѣла

$$y'=\frac{2mv-(m-m')v'}{m+m'}.$$

Не трудно доказать что въ случаѣ столкновенія *неупругихъ* тѣлъ сумма кинетическихъ энергій той и другой ударяющихся массъ послѣ удара становится менѣе чѣмъ какова была до удара: часть энергіи какъ бы утрачивается. Возьмемъ какой-либо частный примѣръ. Представимъ себѣ массу въ 20 килограммовъ движущуюся со скоростію 10 метровъ въ секунду и настигающую другую массу въ 30 килограммовъ, имѣющую скорость 5 метровъ. Сумма кинетическихъ энергій до удара будетъ

$$\frac{mv^2}{2}+\frac{m'v'^2}{2},$$

гдѣ вмѣсто m и m' надо поставить 20 и 30, въ случаѣ если положимъ въ основаніе абсолютное измѣреніе силъ, или же

$$\frac{20}{9{,}8} \quad \text{и} \quad \frac{30}{9{,}8} \left(\text{то-есть } \frac{P}{g}\right)$$

въ случаѣ если за единицу силы примемъ единицу вѣса. Воспользуемся первымъ пріемомъ. Будемъ имѣть:

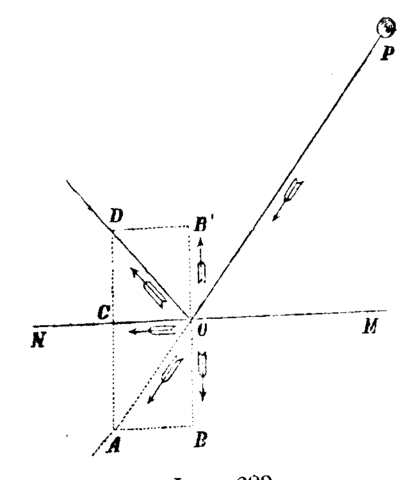
$$\frac{mv^2}{2}+\frac{m'v'^2}{2}=\frac{20\,.\,10^2}{2}+\frac{30\,.\,5^2}{2}=1375$$

Послѣ удара общая скорость x будетъ $\frac{mv+m'v'}{m+m'}=7$. Слѣд. сумма кинетическихъ энергій $\frac{(m+m')x^2}{2}=1225$. Видимъ что кинетическая энергія 1375—1225=150 утрачена. Эта потеря не есть абсолютная. Потерянная энергія преобразуется въ другія явленія, главнымъ образомъ въ теплоту.

Обратимъ вниманіе на случай удара неупругихъ и упругихъ тѣлъ о неподвижную плоскость. Если неупругое тѣло ударяетъ о неподвижную плоскость по перпендикулярному направленію, то послѣ удара, претерпѣвъ измѣненіе формы, оно теряетъ все свое движеніе и остается на томъ мѣстѣ гдѣ ударилось. Если ударяющееся тѣло упругое, какъ напримѣръ шаръ слоновой кости, резинный мячъ, то оно также претерпѣваетъ измѣненіе формы, изъ круглаго дѣлаясь сплюснутымъ. Такое измѣненіе формы можно обнаружить, если покроемъ плоскость легкимъ слоемъ масла или воска: шарикъ слоновой кости, ударившійся о такую плоскость, оставляетъ слѣдъ въ видѣ цѣлаго пятна, доказывающаго, что тѣло во время удара касалось плоскости многими точками и, слѣдов., не имѣло формы шара; и это пятно тѣмъ болѣе, чѣмъ сильнѣе ударъ и, слѣдов., чѣмъ

значительнѣе измѣненіе формы. Но измѣненіе формы упругаго шара не сохраняется; сплюснутый шаръ возвращается къ прежней формѣ и при этомъ въ точкахъ прикосновенія шара съ плоскостью обнаруживается сила упругости, дѣйствующая снизу вверхъ и заставляющая шаръ отскочить отъ плоскости. Такимъ образомъ шаръ, упавшій вертикально съ опредѣленной высоты, послѣ удара о плоскость отражается назадъ по тому же направленію и достигаетъ приблизительно той же высоты, съ какой былъ пущенъ.

Допустимъ что упругій шаръ ударяетъ о плоскость подъ угломъ. Тогда дѣйствіе, которое онъ производитъ во время удара, можно разсматривать какъ силу дѣйствующую въ точкѣ O по направленію OA. Пусть линія OA изображаетъ величину этой силы. Разложимъ ее на двѣ: одну OC, параллельную плоскости, другую OB, перпендикулярную къ ней. Послѣдняя



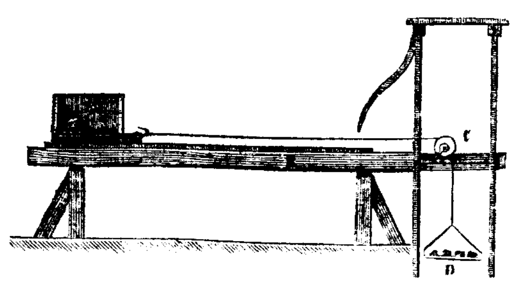
Фиг. 683.

прижимаетъ тѣло къ плоскости и производитъ измѣненіе формы; первая стремится перемѣщать тѣло по направленію OC. Еслибы тѣло было неупругое, то отъ дѣйствія первой силы тѣло претерпѣло бы измѣненіе формы, а отъ второй пришло бы въ движеніе вдоль плоскости. Но въ случаѣ упругаго тѣла, за измѣненіемъ формы, слѣдуетъ дѣйствіе упругости, возстанавляющее прежнюю форму, такъ что тѣло опять становится подверженнымъ двумъ силамъ: одной, дѣйствующей по направленію OC, а другой OB', дѣйствующей вертикально вверхъ и происходящей отъ упругости шара. Силы OC и OB', слагаясь вмѣстѣ, произведутъ дѣйствіе по направленію діаго-

нали OD. Если тѣло вполнѣ упругое, то должно допустить, что $OB'=OB$. Слѣдов. уголъ $AOC=COD$. Но уголъ AOC равенъ углу MOP. Потому $MOP=COD$: *уголъ паденія равенъ углу отраженія.*

Когда одно тѣло, ударяя другое, сообщаетъ ему движеніе, то, какъ мы видѣли, ударяющее тѣло дѣйствуетъ вначалѣ на тѣ частицы, которыя непосредственно встрѣчаетъ и только по истеченіи нѣкотораго времени (впрочемъ, очень краткаго) движеніе сообщается цѣлому тѣлу. Если ударъ произошелъ такъ быстро, что первыя частицы, принявшія его дѣйствіе, пріобрѣли значительную скорость прежде, чѣмъ движеніе успѣло сообщиться всему тѣлу, то можетъ случиться, что онѣ совсѣмъ выйдутъ изъ круга дѣйствія окружающихъ частицъ и отдѣлятся отъ тѣла. Если ударить камнемъ въ дверь, свободно движущуюся на своихъ петляхъ, вся дверь придетъ въ движеніе, но если мы выстрѣлимъ въ нее пулею, пуля прошибетъ въ ней отверстіе, не сообщивъ движенія всей ея массѣ. Пуля можетъ прошибить въ стеклѣ круглое отверстіе, не сдѣлавъ трещинъ. Вообще, въ каждомъ случаѣ, когда одному тѣлу сообщается движеніе чрезъ посредство другаго, требуется нѣкоторое время для передачи дѣйствія всей его массѣ. Положивъ на столѣ бумажку и на нее монету, можемъ выдернуть бумажку изъ-подъ монеты, не увлекая послѣдней, если только произведемъ это очень быстро.

§ 467. Законы тренія. Различаютъ треніе обнаруживающееся когда одно тѣло *скользитъ* по другому отъ сопротивленія какое испытываетъ *катящееся* тѣло. Это послѣднее называется иногда *треніемъ втораго* рода. Сопротивленіе встрѣчаемое катящимся тѣломъ въ большинствѣ случаевъ значительно менѣе сопротивленія испытываемаго скользящимъ тѣломъ.



Фиг. 684.

Для изслѣдованія законовъ тренія въ случаѣ когда тѣло скользитъ по другому, Кулонъ употреблялъ снарядъ въ родѣ изображеннаго на фиг. 684.

Движущееся тѣло A состоитъ изъ ящика, въ который можно положить грузъ и такимъ образомъ измѣнять давленіе на плоскость по которой тѣло двигается. Эта плоскость можетъ состоять или изъ одной широкой полосы, или изъ двухъ тонкихъ, расположенныхъ какъ рельсы. Грузъ D, соединенный съ тѣломъ A помощію нити, перекинутой чрезъ блокъ, приводитъ это тѣло въ движеніе.

Должно различать треніе *при началѣ движенія* и треніе *во время движенія.* Вѣсъ Π платформы съ грузомъ, потребный для того, чтобы тѣло A двинулось съ мѣста, показываетъ величину тренія при началѣ движенія. Оно, какъ показалъ Кулонъ, *пропорціонально давленію тѣла на плоскость* (т.-е. вѣсу тѣла A) и *не зависитъ отъ величины поверхности прикосновенія.* Отношеніе вѣса, π къ вѣсу самого тѣла называется *коэффиціентомъ тренія при началѣ движенія.*

Обременивъ платформу такъ чтобъ ея совокупный съ грузомъ вѣсъ p превышалъ вѣсъ π и тѣло слѣдовательно увлекалось ея паденіемъ, Кулонъ наблюдалъ пространство проходимое тѣломъ и нашелъ, что движеніе было равномѣрно-ускоренное. Отсюда слѣдуетъ, что сила, производящая движеніе въ этомъ случаѣ, есть сила постоянная. Но эта сила есть разность вѣса движущаго груза и величины тренія. Слѣдовательно, такъ какъ вѣсъ груза есть величина постоянная, величина тренія также должны быть постоянною. Итакъ:

Величина тренія остается постоянною во все время движенія и слѣдовательно не зависитъ отъ его скорости.

Далѣе, Кулонъ нашелъ, что во время движенія,

треніе пропорціонально давленію и не зависитъ отъ величины поверхности прикосновенія трущихся тѣлъ.

Съ перваго взгляда кажется, что съ увеличеніемъ трущейся поверхности треніе должно увеличиваться; на самомъ же дѣлѣ оно остается постояннымъ, ибо хотя при увеличеніи поверхности число точекъ прикосновенія увеличивается, но давленіе въ каждой точкѣ становится менѣе, ибо оно распредѣляется по болѣе значительной поверхности.

Сравнивая величину тренія при началѣ, съ величиною тренія во время движенія, можно замѣтить, что первое больше втораго.

Самую величину *коеффиціента тренія во время движенія* можно получить слѣдующимъ образомъ.

Пусть p есть вѣсъ платформы съ лежащимъ на ней грузомъ; F величина силы тренія. Тогда $p-F$ будетъ величина силы производящей движеніе. Вѣсъ массы приводимой въ движеніе есть $P+p$, гдѣ P вѣсъ тѣла A.

Изучая законъ движенія, Куломбъ нашелъ, какъ уже сказано, что оно происходитъ по закону равномѣрно-ускореннаго движенія. Потому наблюдая внимательно какое-нибудь пространство e, пройденное впродолженіе времени t, легко опредѣлить ускореніе G изъ формулы

$$e=\frac{Gt^2}{2}.$$

Зная ускореніе G, можемъ разсуждать такимъ образомъ. На массу, которой вѣсъ есть $P+p$ дѣйствуетъ сила $p-F$ и производитъ ускореніе G; еслибы на ту же массу дѣйствовала сила, равная ея вѣсу, т.-е. $P+p$ (другими словами, еслибы эта масса падала свободно), то ускореніе было бы $g=9,8$ метр. Но силы, дѣйствующія на одну и ту же массу, относятся между собою какъ ускоренія. Слѣдов.

$$\frac{p-F}{P+p}=\frac{G}{g} \text{ или } p-F=(P+p)\frac{G}{g}$$

Изъ этого уравненія легко опредѣлить величину F, а слѣдовательно и величину коеффиціента тренія $f=\frac{F}{p}$.

Отношеніе тренія къ давленію

	при началѣ движенія.	впродолженіе движенія.
Дерево по дереву (безъ смазки)	0,50	0,36
Дерево по дереву (смазанное саломъ)	0,19	0,07
Дерево по металлу (безъ смазки)	0,60	0,42
Дерево по металлу (смазанное саломъ)	0,12	0,08
Металлъ по металлу	0,18	0,18

§ 468. Явленія прилипанія. Когда твердое тѣло прикасается къ жидкому, то между ихъ частицами въ большинствѣ случаевъ обнаруживается сцѣпленіе, называемое *прилипаніемъ*. Если опустимъ стеклянную палочку въ воду и вынемъ ее, то увидимъ, что вода пристала къ стеклу и облекаетъ нижній конецъ палочки въ формѣ капли. Вода смачиваетъ большинство тѣлъ за исключеніемъ нѣкоторыхъ смолистыхъ тѣлъ и тѣлъ покрытыхъ слоемъ жира или масла. Ртуть не смачиваетъ стекла, но легко смачиваетъ нѣкоторые металлы, — олово, свинецъ, цинкъ.

Опустивъ до соприкосновенія съ водою или съ другою какою жидкостію кружокъ изъ стекла, мрамора, металла, и т. п., привѣшенный къ чашкѣ вѣсовъ и удерживаемый въ горизонтальномъ положеніи, замѣтимъ, что вода прилипаетъ къ нижней поверхности кружка (фиг. 685), и надо употребить нѣкоторое усиліе, чтобъ оторвать дискъ отъ поверхности воды. О величинѣ этого усилія можно судить по вѣсу, который должно положить на другую чашку для того, чтобъ отдѣлить дискъ отъ воды. Такъ какъ при этомъ слой жидкости остается прилипшимъ на поверхности кружка, то можемъ заключить, что усиліе, оторвавшее дискъ, пошло на то, чтобъ отдѣлить этотъ слой воды отъ другихъ, подъ нимъ лежащихъ, и слѣдовательно вѣсъ, положенный на другую чашку, показываетъ величину сцѣпленія между самыми частицами жидкости, а не

Фиг. 685.

между частицами жидкости и твердаго тѣла. Это подтверждается тѣмъ, что сила, которую надо употребить, чтобъ оторвать дискъ отъ воды, остается одинаковою, изъ какого бы вещества онъ ни былъ, если только смачивается водою.

Если увеличимъ толстоту диска, то это не имѣетъ вліянія на величину отрывающей силы. Этотъ фактъ показываетъ, что дѣйствіе частичнаго притяженія обнаруживается только на чрезвычайно близкихъ разстояніяхъ. Еслибы притяженіе между дискомъ и водою не ограничивалось ближайшимъ къ диску тонкимъ слоемъ жидкости, то увеличеніе массы диска повлекло бы за собою увеличеніе притяженія, ибо увеличилось бы число частицъ притягивающихся взаимно. Но какъ этого не замѣчается, то мы заключаемъ, что второй слой жидкости притягивается только первымъ, притяженіе же самого диска до него не доходитъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ понятно что, въ случаѣ жидкости смачивающей тѣло, взаимное притяженіе между частицами самой жидкости должно быть меньше притяженія между частицами жидкости и твердаго тѣла; иначе дискъ не былъ бы въ состояніи отдѣлить слой жидкости отъ удерживающей его остальной жидкой массы.

§ 469. Капиллярныя явленія. О явленіяхъ поднятія и пониженія жидкостей въ тонкихъ капиллярныхъ трубкахъ было уже говорено въ первомъ отдѣлѣ въ параграфахъ 45 и 48.

Прибавимъ, что разныя жидкости, смачивающія стекло, поднимаются въ капиллярной трубкѣ опредѣленнаго діаметра не до одинаковой высоты. Изъ опытовъ Гей-Люссака выводитъ, что въ трубкѣ одного миллиметра въ діаметрѣ

вода поднимается	на	29,8	миллим,
спиртъ	—	— 12,2	
эфиръ	—	— . . . 10,8	

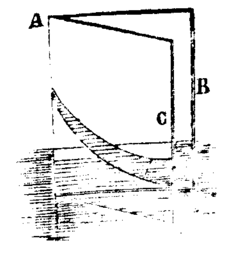
Для одной и той же жидкости высота, до которой она поднимается, *обратно працорціональна діаметру трубки.* Такимъ образомъ, если въ трубкѣ, имѣющей миллиметръ въ діаметрѣ, вода поднимается до 30 миллим., то въ трубкѣ, въ два миллиметра въ діаметрѣ, высота поднятой колонны будетъ равняться 15 миллим., въ трубкѣ $\frac{1}{2}$ миллим., въ діаметрѣ вода поднимается до 60 миллим.

Пониженіе жидкости въ трубкѣ изъ вещества, которое оно не смачиваетъ, слѣдуетъ тому же закону.

Эти законы были оправданы точными опытами Гей-Люссака.

Если вмѣсто трубки мы опустимъ въ жидкость двѣ параллельныя между собою пластинки, то жидкость между ними, если разстояніе ихъ мало, будетъ также стоять выше или ниже общаго уровня жидкости въ сосудѣ, и притомъ повышеніе или пониженіе жидкости будетъ обратно пропотціонально разстоянію пластинокъ. Сравнивая высоту жидкости между двумя пластинками съ высотою колонны жидкости въ капиллярной трубкѣ, которой діаметръ равняется разстоянію пластинокъ между собою, находимъ что поднятіе или пониженіе жидкости въ капиллярной трубкѣ вдвое болѣе чѣмъ между пластинками.

Если опустить въ воду (которую обыкновенно подкрашиваютъ для того, чтобъ явленіе было рѣзче замѣтно) двѣ пластинки образующія между собою двухгранный уголъ съ вертикальнымъ ребромъ, то вода въ узкой части угла поднимается выше чѣмъ въ широкой, и ея вершина образуетъ кривую поверхность, какъ видно на фиг. 686. Кривая линія, какою вершина жидкой колонны ограничивается при каждой изъ пластинокъ, есть *гипербола.*



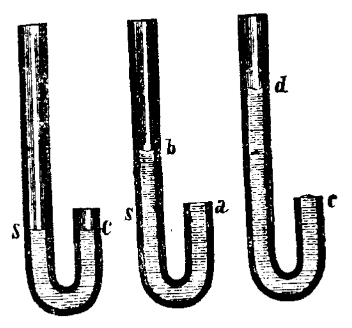
Фиг. 686.

Явленія объясняются частичнымъ давленіемъ поверхностнаго слоя жидкости, представляющаго собою родъ упругой плевы облекающей жидкую массу, —давленіемъ величина котораго зависитъ отъ вида поверхности. Происхожденіе такого частичнаго давленія поверхностнаго слоя объясняется тѣмъ обсто-

ятельствомъ что при поверхности жидкости до глубины равной радіусу частичнаго дѣйствія, каждая частица притягивается по направленію внутрь жидкости сильнѣе чѣмъ по направленію къ поверхности, ибо, ближе къ поверхности, надъ нею менѣе частицъ чѣмъ сколько требуется для наполненія сферы частичнаго дѣйствія. Частичное давленіе передается чрезъ жидкую массу по общимъ законамъ гидростатическаго давленія. Такимъ образомъ жидкость налитая въ сосудъ, давитъ внизъ, во-первыхъ вслѣдствіе своей тяжести, во-вторыхъ вслѣдствіе частичнаго давленія, происходящаго оттого что слой ограничивающій свободную поверхность давитъ на остальную массу жидкости. Теоретическій разборъ предмета убѣждаетъ что давленіе поверхностнаго слоя когда жидкость ограничена *выпуклою* поверхностію *болѣе* нежели въ случаѣ когда она ограничена *плоскостію.* Въ свою очередь давленіе въ случаѣ *плоскости болѣе,* чѣмъ въ случаѣ *вогнутой* поверхности.

Слѣдующіе опыты подтверждаютъ сказанное. Сдѣлаемъ узкое колѣно согнутой трубки короче широкаго. Тогда, наливая воду черезъ широкое колѣно, замѣтимъ, что она въ узкомъ колѣнѣ, пока еще не дошла до конца трубки, стоитъ выше и оканчивается вогнутою поверхностью. Прибавляя жидкости въ широкое колѣно, можемъ довести вершину узкаго столба жидкости до самаго конца трубки. Продолжая приливать, замѣтимъ, что будетъ моментъ, когда поверхность жидкости въ узкой трубкѣ сдѣлается *горизонтальною.* Тогда уровень жидкости будетъ одинаковый въ обоихъ колѣнахъ. Прибавляя еще жидкости, замѣтимъ что поверхность при концѣ узкой трубки вздуется и будетъ оканчиваться *выпуклостію.* Въ это время высота столба, заключающагося въ широкомъ колѣнѣ, будетъ выше чѣмъ въ узкомъ. Если прильемъ слишкомъ много воды, она въ узкомъ колѣнѣ перельется наконецъ черезъ край.

Отношеніе между давленіемъ и видомъ поверхности еще подробнѣе можно прослѣдить, если оба колѣна капиллярныя одного діаметра. Высота воды одинакова въ обоихъ колѣнахъ, пока она оканчивается въ обоихъ *вогнутою* поверхностію (фиг. 687). Когда черезъ прилитіе жидкости поверхность въ короткомъ колѣнѣ сдѣлается плоскою, то въ длинномъ, гдѣ жидкость по прежнему оканчивается вогнутымъ мениском, она стоитъ выше (фиг. 688). Разность высотъ еще значительнѣе, когда короткое колѣно оканчивается выпуклою поверхностію (фиг. 689). Такимъ образомъ столбъ, оканчивающійся плоскостію, можетъ уравновѣсить болѣе длинный столбъ, оканчивающійся выпуклымъ менискомъ; можетъ уравновѣсить еще болѣе длинный столбъ, оканчивающійся вогнутостію.



Фиг. 687. Фиг. 688. Фиг. 689.

Помѣстивъ между двумя стеклянными пластинками расположенными наклонно одна къ другой, каплю жидкости такъ, чтобъ она касалась обѣихъ пластинокъ, замѣчаютъ слѣдующее явленіе. Если жидкость, какъ вода, смачиваетъ стекло, то капля, принявъ при краяхъ своихъ *вогнутую* поверхность (фиг. 690) дви-

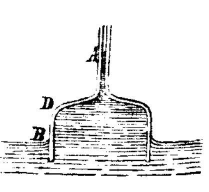
жется *приближаясь* къ вершинѣ угла, образованнаго пластинками. Въ случаѣ ртути капля принимаетъ при краяхъ *выпуклую* поверхность (фиг. 691) и *удаляется* отъ вершины угла.

Фиг. 690. Фиг. 691.

Эти явленія можно объяснить, обративъ вниманіе на форму поверхностей какими ограничивается капля, и принявъ въ соображеніе связь какая существуетъ между формою поверхности и давленіемъ. Менискъ, какимъ оканчивается капля воды со стороны вершины угла, имѣетъ болѣе вогнутую поверхность, чѣмъ менискъ, обращенный къ широкому отверстію угла. Поверхность послѣдняго по виду своему ближе слѣд. подходитъ къ плоскости, чѣмъ поверхность перваго; а въ предыдущихъ опытахъ мы видѣли, что давленіе съ той стороны жидкой массы, гдѣ она оканчивается плоскостію значительнѣе, чѣмъ съ той гдѣ она оканчивается вогнутостью. Въ случаѣ капли ртуть, выпуклость значительнѣе со стороны вершины угла; съ этой стороны и замѣчается преобладающее давленіе которое заставляетъ каплю удаляться отъ вершины угла.

Подобныя же явленія можно замѣтить въ трубкахъ конической формы.

Въ широкой трубкѣ съ капиллярнымъ окончаніемъ жидкость поднимается (фиг. 692) или опускается точно также какъ въ трубкѣ, имѣющей на всемъ своемъ протяженіи узкій діаметръ. Этотъ

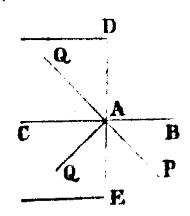


Фиг. 692.

опытъ подтверждаетъ, что поднятіе или пониженіе жидкости въ трубкѣ зависитъ исключительно отъ крайняго слоя этой жидкости, ограниченнаго вогнутою поверхностію въ случаѣ поднятія, и выпуклою въ случаѣ пониженія.

Такимъ образомъ *частичное* давленіе объясняетъ почему въ капиллярной трубкѣ жидкость ограниченная, какъ вода, *вогнутою* поверхностью стоитъ *выше*, а жидкость ограниченная какъ ртуть, *выпуклою* поверхностію *ниже* чѣмъ въ сосудѣ гдѣ она плоская. Но возникаетъ вопросъ, почему жидкость смачивающая стекло или иное тѣло имѣетъ въ трубкѣ изъ этого тѣла вогнутую, жидкость же не смачивающая—выпуклую поверхность. Это, какъ видно изъ слѣдующихъ разсужденій, объясняется разною степенью притяженія частицъ жидкости между собою и съ частицами тѣла, изъ котораго состоитъ трубка.

Пусть DE представляетъ твердую стѣнку, касающуюся жидкости BAE. Частица A жидкости, помѣщенная при пересѣченіи двухъ поверхностей, испытываетъ вопервыхъ притяженіе части жидкости BAE. Это притяженіе приводится къ одной равнодѣйствующей P, направленной по линіи, раздѣляющей уголъ BAE пополамъ. Съ другой стороны частица A притягивается частями CAD, CAE твердаго тѣла. Это притяженіе приводится къ двумъ равнымъ силамъ Q, наклоненнымъ къ линіи CA подъ угломъ 45°. Каждую изъ силъ Q и P разложимъ на двѣ: одну—направленную по горизонтальной, другую—по вертикальной линіи. Одна изъ силъ Q даетъ вертикальную слагающую, дѣйствующую по AD вверхъ, другая—слагающую, дѣйствующую по AE внизъ: двѣ эти слагающія, такъ какъ онѣ равны между собою, уничтожаются взаимно. Сила P даетъ вертикальную слагающую $P . \cos 45°$, дѣйствующую по AE внизъ. Далѣе — каждая изъ силъ Q даетъ горизонтальную слагающую $Q . \cos 45°$, дѣйствующую по AC; двѣ эти слагающія вмѣстѣ дадутъ силу $2Q . \cos 45°$, дѣйствующую по AC. Сила P даетъ горизонтальную слагающую $P . \cos 45°$, дѣйствующую по AB.

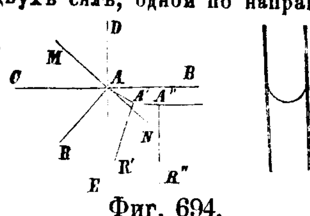


Фиг. 693.

Такимъ образомъ дѣйствіи трехъ силъ: Q, Q и P, приводится къ вертикальной силѣ $P . \cos 45°$, дѣйствующей внизъ по AE и горизонтальной $(2Q-P) . \cos 45°$, которой направленіе будетъ зависѣть отъ сравнительной величины P и Q. Тутъ могутъ встрѣтиться три случая, такъ какъ частичное притяженіе въ случаѣ различныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, находящихся въ прикосновеніи, имѣетъ различное напряженіе. Можетъ быть

$$2Q - P > 0; \quad 2Q - P = 0, \quad 2Q - P < 0.$$

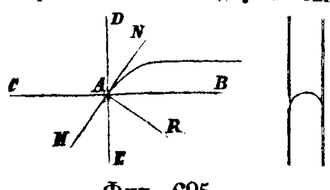
1) Если $2Q-P>0$, частица A будетъ подвержена дѣйствію двухъ силъ, одной по направленію AE, другой по AC. Они дадутъ одну равнодѣйствующую AR, помѣщенную въ углѣ CAE (фиг. 694). Такъ какъ поверхность равновѣсія жидкости всегда перпендикулярна къ направленію силъ, дѣйствующихъ на ея частицы, то она будетъ касательна къ плоскости MN, перпендикулярной къ AR. Слѣд. поверхность жидкости при стѣнкѣ не будетъ горизонтальна: она встрѣтитъ твердую стѣнку, дѣлая съ ней уголъ DAN, который будетъ имѣть постоянную величину для тѣхъ же веществъ и который можно назвать *угломъ прикосновенія*. Частицы жидкости A' A'', далѣе удаленныя отъ твердаго тѣла, будутъ испытывать дѣйствія болѣе слабыя, и силы R', R'', дѣйствующія на нихъ, будутъ приближаться къ вертикальному направленію. Такимъ образомъ поверхность равновѣсія будетъ кривою и сдѣлается горизонтальною на нѣкоторомъ разстояніи отъ DE. Легко понять, что если вторая вертикальная стѣнка будетъ помѣщена противъ первой, то поверхность, какою оканчивается жидкость приметъ форму вогнутой цилиндрической поверхности, если эти стѣнки достаточно сближены между собою. Въ трубкѣ эта поверхность будетъ поверхностью вращенія около оси трубки, и ее можно принять за сферическую.



Фиг. 694.

2) Когда $2Q-P=o$, то общая равнодѣйствующая будетъ вертикальная, жидкость останется горизонтальною въ мѣстѣ прикосновенія съ твердою стѣнкой, уголъ прикосновенія будетъ равняться 90°

3) Если $2Q-P$ менѣе нуля, то равнодѣйствующая R найдется чрезъ сложеніе двухъ силъ, направленныхъ по AB и AE (фиг. 695); она будетъ находиться въ углѣ BAE; поверхность ограничивающая жидкость, будетъ касательною къ плоскости MN, перпендикулярной къ AR, и уголъ прикосновенія DAN будетъ менѣе 90°. Поверхность будетъ *выпуклою* близь стѣнки, преобразуется въ цилиндрическую между двумя параллельными стѣнками и въ выпуклый шаровой сегментъ въ капиллярной трубкѣ.



Фиг. 695.

Къ этому разсужденію (заимствованному нами изъ *Физики* Жамена) присоединимъ, что если $P=Q$ и слѣдовательно частицы стѣнки оказываютъ на частицы жидкости протяженіе равное тому, какое существуетъ между частицами самой жидкости, то $2Q$ будетъ болѣе P, и слѣд. поверхность будетъ вогнутою. Когда дѣлаются опыты надъ поднятіемъ воды въ капиллярной

стеклянной трубкѣ, то обыкновенно предварительно смачива-
ютъ стѣнки водою (всасывая, напримѣръ, эту жидкость ртомъ);
вода смачивая стекло, облекаетъ внутреннюю поверхность
трубки тонкимъ слоемъ. Потому поднятіе воды происходитъ
такъ, какъ еслибы самыя стѣнки трубки состояли изъ воды.
Если трубка, опускаемая въ воду, не смочена предварительно
то она должна быть совершенно чиста для того, чтобъ обра-
зовалась правильная вогнутая поверхность. Обыкновенно явле-
ніе обнаруживается неправильнымъ образомъ, уголъ прикосно-
венія бываетъ неодинаковымъ на всемъ контурѣ трубки. Это
подтверждаетъ положеніе теоріи, что видъ поверхности зави-
ситъ отъ слоя жидкости ближайшаго къ стѣнкѣ.

§ 470. **Смѣшеніе жидкостей между собою. Явленія Эндосмоза.** Взаимнымъ притяженіемъ частицъ двухъ разнородныхъ жидкостей объясняется ихъ смѣшеніе или *диффузія*. Такъ, слой спирта осторожно налитый поверхъ слоя воды постепенно смѣшивается съ водою проникая внизъ тогда какъ вода проникаетъ вверхъ до тѣхъ поръ пока образуется однородный растворъ. Напротивъ того масло, эѳиръ не смѣшиваются съ водою. Если между двумя жидкостями способными смѣшиваться помѣстить скважистую перегородку, то явленіе диффузія происходитъ иначе чѣмъ въ случаѣ когда нѣтъ перегородки, и объемъ жидкости переходящей въ одну сторону обыкновенно значительно разнится отъ объема переходящей въ другую, что зависитъ отъ разной степени притяженія между перегородкою и тою и другою жидкостію. Такимъ образомъ, если спиртъ и вода раздѣлены каучуковой перегородкою, то болѣе переходитъ спирта къ водѣ чѣмъ воды къ спирту; напротивъ того если перегородка сдѣлана изъ животнаго пузыря, то болѣе переходитъ воды къ спирту чѣмъ наоборотъ (каучукъ смачивается спиртомъ и слабо смачивается водою, пузырь менѣе смачивается спиртомъ чѣмъ водою). Въ случаѣ соляного раствора отдѣленнаго животною перегородкою отъ воды, вода просачивается въ значительномъ количествѣ въ растворъ. Такъ если наполнить трубку, за-

вязавъ ея нижнее отверстіе пузыремъ, растворомъ купороса и опустить въ чистую воду, то чрезъ нѣсколько времени вода внутри трубки будетъ стоять значительно выше чѣмъ внѣ: вода просочится въ большомъ количествѣ чрезъ перегородку. Дютроше (французскій ученый) открывшій эти явленія, играющія важную роль въ процессѣ питанія растеній и животныхъ, наименовалъ ихъ явленіями *эндосмоза* и *экзосмоза* (понимая подъ первымъ словомъ приращеніе, подъ вторымъ убыль раздѣленныхъ перегородкою жидкостей).

§ 471. **Частичныя силы въ твердомъ, жидкомъ и газообразномъ состояніяхъ тѣлъ.** Разсматривая всякое тѣло какъ совокупность частицъ взаимодѣйствующихъ, мы должны допустить, что въ *твердомъ* тѣлѣ каждая частица удерживается дѣйствіемъ окружающихъ въ опредѣленномъ положеніи равновѣсія. Потому, говоритъ Клаузіусъ, въ *твердомъ* тѣлѣ движеніе частицъ таково, „что они движутся около опредѣленныхъ положеній равновѣсія, ихъ окончательно не оставляя, если нѣтъ стороннихъ дѣйствующихъ силъ. Движеніе частицъ твердаго тѣла можно слѣдовательно разсматривать какъ движеніе дрожательное. Но оно можетъ быть весьма сложно. Во-первыхъ могутъ дрожать сами по себѣ составныя части отдѣльной частицы, во-вторыхъ цѣлыя частицы какъ таковыя. Послѣднія колебанія могутъ опять состоять изъ движенія взадъ и впередъ центра тяжести частицы, или изъ вращательныхъ колебаній около центра тяжести. Въ тѣхъ случаяхъ когда дѣйствуютъ внѣшнія силы на тѣло, какъ напримѣръ при сотрясеніи, частицы могутъ перемѣститься въ новыя положенія равновѣсія, въ которыхъ и остаться.

„Въ жидкихъ тѣлахъ частицы не имѣютъ опредѣленныхъ положеній равновѣсія. Онѣ могутъ дѣлать

полныя обращенія около центра тяжести, а также совсѣмъ оставить данное положеніе и перейти въ другое мѣсто. Но гонящее дѣйствіе движенія, сравнительно съ взаимнымъ притяженіемъ частицъ, не довольно сильно чтобы совсѣмъ разъединить частицы между собою. И хотя частица не связана съ опредѣленными сосѣдними частицами, однако оставляетъ ихъ не сама собою, но подъ дѣйствіемъ силъ исходящихъ отъ другихъ частицъ, по отношенію къ которымъ приходитъ въ то же положеніе, въ какомъ была по отношенію къ своимъ прежнимъ сосѣднимъ частицамъ. Такимъ образомъ въ жидкости бываетъ качательное, катательное, поступательное движеніе, но такъ что частицы чрезъ это не разъединяются и даже безъ внѣшняго давленія сохраняются въ опредѣленномъ объемѣ.

„Наконецъ, въ газообразномъ состояніи, частицы, вслѣдствіе движенія, совершенно выходятъ изъ сферы взаимнаго притяженія и летятъ, по обыкновеннымъ законамъ движенія, прямолинейно. Когда двѣ такія частицы столкнутся въ своемъ движеніи, то съ тою же стремительностію отлетаютъ одна отъ другой съ какой сошлись, что тѣмъ легче можетъ произойти, что частица отдѣльною другою частицею притягивается съ гораздо меньшею силою, чѣмъ цѣлою совокупностію частицъ, находящихся въ ея сосѣдствѣ, въ случаѣ жидкаго или твердаго состоянія.“

При такомъ воззрѣніи, давленіе газа на ограничивающія его стѣнки должно быть разсматриваемо какъ результатъ толчковъ или ударовъ оказываемыхъ на стѣнки летящими частицами газа. Величина его должна зависѣть отъ энергіи движенія ударяющихъ частицъ.

§ 472. **Связь между объемомъ, давленіемъ и температурою въ газообразныхъ тѣлахъ.** Вопросы относящіеся къ газообразнымъ тѣламъ разрѣшаются

главнымъ образомъ на основаніи законовъ Маріотта (§ 102) и Гей-Люссака (§ 171), выражающихъ связь между давленіемъ, объемомъ и температурою данной массы газа. Пусть, напримѣръ, вѣсъ разсматриваемаго количества газа есть p, объемъ v, температура t^0. Чтобы вывести формулу выражающую связь между этими величинами обратимся къ вопросу разрѣшенному уже въ § 172, именно выразимъ вѣсъ объема v воздуха, при температурѣ t^0 и давленіи H, зная что куб. метръ воздуха при 0^0 и давленіи 760 миллим. вѣситъ 1,293 килограмма. По закону Маріотта кубическій метръ воздуха при давленіи H долженъ во столько разъ вѣсить болѣе или менѣе 1,293 килограммовъ, во сколько H болѣе или менѣе 760 миллиметровъ. Вѣсъ этотъ будетъ слѣдовательно $1{,}293 \cdot \frac{H}{760}$ килограммовъ. Это количество воздуха при 0^0 занимаетъ объемъ равный одному куб. метру; при t^0 оно займетъ объемъ $1+\alpha t$ гдѣ $\alpha = \frac{1}{273}$ коеффиціентъ расширенія воздуха. Если $1+\alpha t$ кубическихъ метровъ вѣсятъ $1{,}293 \cdot \frac{H}{760}$ килограммовъ, то одинъ куб. метръ долженъ вѣсить въ $1+\alpha t$ разъ менѣе, то-есть

$$1{,}293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}\,.$$

Чтобы получить вѣсъ объема v при нашихъ условіяхъ, должно эту величину помножить на v.

Получимъ

$$1{,}293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}\, v \;.\;.\;.\;.\; (1)$$

Еслибы вопросъ шелъ не о воздухѣ а о другомъ какомъ-либо газѣ, то мы получили бы тоже выраженіе (предполагая что газъ одинаково съ воздухомъ подчиняется законамъ Маріотта и Гей-Люссака) только вмѣсто 1,293 кил. должно было бы поставить вѣсъ разсматриваемаго газа при 0^0 и 760 милл. давленія. Въ случаѣ, напримѣръ, водорода это было бы, 0,0896, и формула выразилась бы такъ

$$0{,}0896^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot v \;.\;.\;.\;.\; (2)$$

Раздѣливъ выраженіе (2) на (1) найдемъ отношеніе вѣса водорода къ вѣсу равнаго объема воздуха *взятаго при томъ же давленіи и той же температурѣ*. Видимъ что отношеніе это, которое назовемъ буквою d, есть величина *постоянная* для даннаго газа (слѣдующаго упомянутымъ законамъ), независящая отъ давленія и температуры. Оно называется *плотностію* газа сравнительно съ воздухомъ. Если плотность d извѣстна, то помноживъ 1,293 килогр. на d, получимъ вѣсъ куб. метра разсматриваемаго газа при 0^0 и 760 миллиметр. давленія. Вѣсъ p объема v этого газа будетъ слѣдов.

$$p = 1{,}293 \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot v \cdot d \;.\;.\;.\;.\; (3)$$

Приведемъ плотности нѣкоторыхъ изъ газообразныхъ тѣлъ.

Кислородъ	1,1083
Водородъ	0,0693
Азотъ	0,9698
Хлоръ	2,4563
Аммоніакъ	0,5887
Углекислота	1,5239

Если *та же* масса даннаго газа приведена къ другому давленію H', другой температурѣ t' и занима-

етъ потому другой объемъ v', то формула выражающая ся вѣсъ будетъ

$$p = 1{,}293 \cdot \frac{H'}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot v' \cdot d \quad . \; . \; . \; (4)$$

Приравнявъ выраженія (3) и (4) и сокративъ общіе множители, будемъ имѣть

$$\frac{H . v}{1+\alpha t} = \frac{H'. v'}{1+\alpha t}$$

Эта формула обозначаетъ: при какихъ бы условіяхъ давленія и температуры ни находилась *данная масса* газа, всегда *произведеніе его давленія на объемъ дѣленное на биномъ расширенія есть величина постоянная.*

Если $t = t'$, то-есть измѣняемъ давленіе, не измѣняя температуры, то имѣемъ $H . V = H' . V'$ законъ Маріотта.

Предыдущія формулы прилагаются и къ случаю паровъ. Пусть f есть упругость пара ненасыщающаго пространство. Паръ ненасыщающій пространство приблизительно слѣдуетъ законамъ Маріотта и Гей-Люссака, и слѣд. вѣсъ его π при объемѣ v будетъ

$$\pi = 1{,}283 \cdot \frac{f}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot v \cdot d \quad . \; . \; . \; (5)$$

гдѣ d плотность пара.

Различіе въ приложеніи этой формулы сравнительно съ формулою (3) въ томъ, что въ формулѣ (3) мы можемъ полагать для H произвольную величину (по крайней мѣрѣ пока газъ далекъ отъ состоянія при которомъ становится паромъ и можетъ быть обращенъ въ жидкость), тогда какъ въ формулѣ (5) f имѣетъ предѣлъ F соотвѣтствующій насыщенію

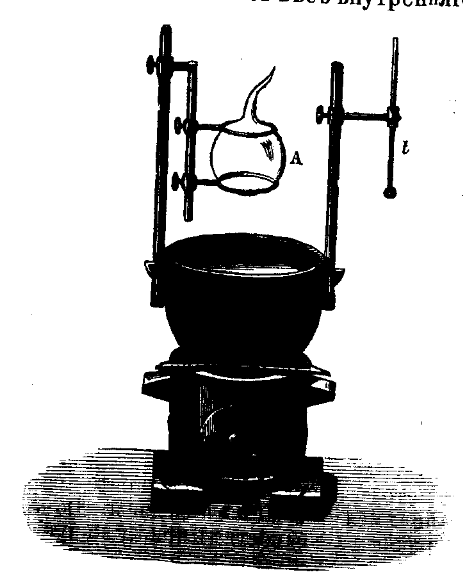
(maximum упругости при данной температурѣ). Такъ, при 20° водяной паръ не можетъ имѣть упругость болѣе 17,4 миллим. Когда онъ достигнетъ этой упругости, то становится насыщающимъ пространство и при дальнѣйшемъ сжатіи обращается въ воду, сохраняя въ необращенной еще въ жидкость части упругость $F = 17{,}4$ миллиметра. Потому нельзя, напримѣръ, спрашивать какой вѣсъ даннаго объема пара при 20° и давленіи цѣлой атмосферы. Чтобы водяной паръ могъ имѣть упругость равную нормальному давленію атмосферы, онъ долженъ быть по крайней мѣрѣ при 100°.

§ 473. Опредѣленіе плотности пара различныхъ тѣлъ. Плотность пара какъ и плотность газа есть отношеніе вѣса даннаго объема пара къ вѣсу равнаго объема воздуха взятаго при томъ же давленіи и той же температурѣ. Плотность эта должна быть величиною постоянною, если паръ слѣдуетъ тѣмъ же законамъ сжатія и расширенія какъ воздухъ (для водяного пара это приблизительно вѣрно въ предѣлахъ среднихъ температуръ).

Относительно методъ опредѣленія плотности паровъ помощію опыта ограничимся указаніемъ способа **Дюма**, приложимаго къ разнообразнымъ жидкостямъ при температурахъ выше точки ихъ кипѣнія.

Изслѣдуемое вещество вводится въ небольшой баллонъ оканчивающійся тонкимъ отверстіемъ. Баллонъ погружается въ котелъ (фиг. 696) съ масломъ или вообще жидкостію которой точка кипѣнія значительно выше точки кипѣнія изслѣдуемаго вещества. Котелъ нагрѣвается до температуры значительно превышающей температуру кипѣнія изслѣдуемаго вещества. Оно приходитъ въ кипѣніе и изъ отверстія идетъ замѣтная струя пара, выгоняющая воздухъ и продолжающая выходить пока въ баллонѣ есть избытокъ вещества не обратившійся еще въ паръ. Какъ скоро все вещество обратилось въ паръ, струя вдругъ прекращается. Баллонъ наполненъ слѣдов. паромъ при температурѣ выше точки кипѣнія вещества и съ упругостію равною давленію атмосферы въ моментъ опыта (упругость эта менѣе maximum: паръ не насыщаетъ баллона). Кончикъ запаиваютъ; вынутый и обтертый баллонъ помѣщаютъ на чашку вѣсовъ. Пусть онъ уравновѣшивается грузомъ Q положеннымъ на другую чашку. Если назовемъ буквою q вѣсъ стеклянныхъ стѣнокъ баллона, π вѣсъ заключающагося въ немъ пара, q' вѣсъ вытѣсняемаго баллономъ воздуха, то очевидно, будемъ имѣть $Q = \pi + q - q'$, откуда искомое $\pi = Q - q + q'$. Вѣсъ стѣнокъ q опредѣляется предварительнымъ взвѣшиваніемъ баллона, когда онъ

былъ еще наполненъ воздухомъ. Пусть баллонъ въ этомъ состояніи будучи положенъ на одну чашку вѣсовъ, уравновѣшивается нѣкоторымъ грузомъ, положеннымъ на другую. Тогда на первую чашку давитъ вѣсъ стекла плюсъ вѣсъ внутренняго воздуха ми-



Фиг. 696.

нусъ вѣсъ вытѣсняемаго воздуха. Такъ какъ вѣсъ внутренняго воздуха (пренебрегая толщиною стеклянной оболочки) можно считать равнымъ вѣсу вытѣсняемаго, то вѣсъ q груза положеннаго на вторую чашку прямо выражаетъ вѣсъ стеклянныхъ стѣнокъ. Величину q' не трудно вычислить, если извѣстенъ внутренній объемъ баллона. Объемъ этотъ опредѣляютъ, обыкновенно, при окончаніи опыта. Отламываютъ кончикъ, опустивъ его подъ воду; баллонъ весь наполняется водою. Его взвѣшиваютъ и чрезъ то узнаютъ вѣсъ наполняющей его воды. Зная вѣсъ этотъ, вычисляютъ соотвѣтствующій объемъ (объемъ этотъ нѣсколько увеличивается при возвышенной температурѣ котла; увеличеніе это можно принять въ расчетъ зная коэффиціентъ расширенія вмѣстимости стеклявнаго сосуда).

§ 474. Законъ Гей-Люссака относительно объема газовъ соединяющихся химически. Теоретическое опредѣленіе плотности пара. Гей-Люссакъ открылъ замѣчательный законъ химическаго соединенія газообразныхъ тѣлъ. Если два газа A и B, соединяясь между собою, образуютъ третье тѣло C могущее быть

приведено также въ газообразный видъ (такъ кислородъ соединяясь съ водородомъ даетъ воду, которая можетъ быть приведена въ состояніе пара); то объемъ, какъ газовъ A и B, такъ и тѣла C въ газообразномъ состояніи, — въ случаѣ если всѣ три газообразныя тѣла находятся при одинаковой температурѣ и одинаковомъ давленіи,—находятся между собою въ весьма простыхъ кратныхъ отношеніяхъ. Такимъ образомъ одинъ объемъ кислорода, соединяясь съ двумя объемами водорода, даетъ два объема водянаго пара при одинаковыхъ температурѣ и давленіи, (напримѣръ при 100° и давленіи атмосферы). Вообще m объемовъ газа A, соединяясь съ m' объемами газа B, даютъ M объемовъ сложнаго газа C, причемъ m, m' и M находятся между собою въ весьма простыхъ отношеніяхъ. Этотъ законъ позволяетъ теоретически опредѣлить плотность сложнаго газа C если извѣстна плотность составныхъ его частей A и B и отношеніе объемовъ.

Дѣйствительно m объемовъ газа A имѣютъ вѣсъ

$$p=1,293 \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot m.\ v.\ d = \varepsilon .\ m.\ d\,,$$

гдѣ для краткости буквою ε назовемъ совокупность остальныхъ, множителей кромѣ m и d. Вѣсъ p' газа B будетъ

$$p' = \varepsilon \,.\, m'd'.$$

Вѣсъ P сложнаго газа C будетъ $P = \varepsilon \,.\, M \,.\, x$ гдѣ x искомая плотность газа C.

Но $P = p + p'$ слѣд. $Mx = md + m'd'$ откуда

$$x = \frac{md + m'd'}{M}$$

Въ случаѣ воды одинъ объемъ кислорода соединяясь съ двумя объемами водорода, даетъ (по приведеніи къ одинакимъ давленію и температурѣ) два объема водянаго пара. Слѣдовательно въ этомъ случаѣ $m=1$, $d=1,1083$; $m'=2$, $d'=0,0693$; $M=2$. Получаемъ $x=0,622$. Въ случаѣ аммоніака образующагося изъ соединенія трехъ объемовъ водорода съ однимъ азота, при чемъ получается два объема аммоніака, $m=3$, $d=0,0693$; $m'=1$, $d'=0,9698$, $M=2$. Получимъ $x=0,5888$.

§ 475. Смѣшеніе между собою газовъ не дѣйствующихъ непосредственно химически одинъ на другой. Представимъ себѣ два сообщающіяся между собою пространства, одно надъ другимъ, и пусть нижнее наполнено однимъ, верхнее другимъ газомъ. Изъ нихъ болѣе тяжелый (наприм. углекислота) пусть находится въ нижнемъ пространствѣ; болѣе легкій (наприм.

водородъ) въ верхнемъ. Пусть оба газа находятся подъ одинакимъ давленіемъ; напримѣръ, подъ давленіемъ атмосферы. Повидимому, оба газа должны бы остаться въ равновѣсіи, ибо давятъ одинаково одинъ на другой, и болѣе тяжелый занимаетъ нижнюю часть. Но опытъ показываетъ что мало по малу оба газа между собою смѣшиваются: какъ водородъ такъ и углекислота распространяются однообразно во всемъ пространствѣ. Явленіе становится понятнымъ, если принять, какъ указано выше, что каждый газъ есть совокупность отдѣльныхъ движущихся частицъ, сталкивающихся между собою и съ окружающими стѣнками. Чрезъ поверхность раздѣла соприкасающихся газовъ съ той и съ другой стороны должны проникать несущіяся частицы, какъ проникаютъ онѣ и въ томъ случаѣ когда вверху и внизу одинаковый газъ. Мало по малу каждый изъ газовъ распространится во всемъ занимаемомъ пространствѣ; для каждаго изъ газовъ установится родъ подвижнаго равновѣсія, при которомъ столько же частицъ будетъ переходить изъ нижняго пространство въ верхнее, сколько наоборотъ. При этомъ общее давленіе смѣси останется безъ перемѣны,—равнымъ въ нашемъ случаѣ, атмосферному.

Представимъ себѣ далѣе что мы смѣшиваемъ въ одномъ объемѣ V нѣсколько массъ одного и того же газа или различныхъ газовъ не дѣйствующихъ химически одинъ на другой; и пусть первая масса до смѣшенія занимала объемъ v и оказывала давленіе p, вторая имѣла объемъ v' и давленіе p', третья v'' и p'' и т. д. Спрашивается, какъ велика будетъ упругость смѣси.

Чтобы получить эту общую упругость, должно вообразить что каждый изъ газовъ одинъ наполняетъ собой весь объемъ V. Тогда упругость перваго изъ нихъ была бы $\frac{vp}{V}$, втораго $\frac{v'p'}{V}$, третьяго $\frac{v''p''}{V}$ и

т. д. Сумма этихъ количествъ представитъ полную упругость смѣси. Слѣдовательно

$$P = \frac{vp}{V} + \frac{v'p'}{V} + \frac{v''p''}{V} + \dots$$

$$\text{или } PV = vp + v'p' + v''p'' + \dots$$

Не трудно теоретически оправдать это правило, принявъ въ со-
ображеніе, что двѣ рядомъ помѣщенныя массы разнородныхъ
газовъ, находящихся подъ одинаковымъ давленіемъ, смѣшивают-
ся между собою, и допуская, что Маріотовъ законъ приложимъ
къ смѣсямъ газовъ въ той же мѣрѣ какъ къ отдѣльнымъ газамъ.
„Если имѣемъ, говоритъ Пуассонъ, два газа, смѣшанные вмѣстѣ
и наполняющіе объемъ V и если означимъ чрезъ p и p' да-
вленія (отнесенныя къ единицѣ поверхности), какія эти газы
оказываютъ отдѣльно при той же температурѣ и при томъ же
объемѣ V, то упругость смѣси будетъ $p+p'$. Дѣйствительно,
допустимъ сперва, что два газа находятся отдѣльно одинъ отъ
другаго и что $p' > p$. Если расширить газъ, подверженный да-
вленію p', не измѣняя его температуры, и притомъ такъ что
упругость его сдѣлается равною p, то, по закону Маріота,
его объемъ будетъ $\frac{Vp'}{p}$. Допустимъ далѣе, что мы сопомѣ
стили два эти газа въ закрытомъ сосудѣ, котораго вмѣстимость
есть $V + \frac{Vp'}{p}$ или $\frac{V}{p}(p+p')$; эти газы смѣшаются безъ из-
мѣненія температуры: произойдетъ однородная смѣсь, при
температурѣ t и подъ давленіемъ p. Но законъ Маріотта при-
лагается къ смѣси газовъ столько же, какъ и къ однороднымъ
газамъ; слѣдовательно если сжимать эту смѣсь, не измѣняя
температуры, до тѣхъ поръ, пока объемъ ея изъ $\frac{V}{p}(p+p')$
сдѣлается равнымъ V, то упругость ея изъ p сдѣлается $p+p'$,
что̀ и требовалось доказать.“

**§ 476. Смѣшеніе газовъ и паровъ. Опредѣленіе вѣса объ-
ема V сыраго воздуха.** Вопросъ о смѣшеніи газовъ и паровъ
разрѣшается на тѣхъ же основаніяхъ какъ вопросъ о смѣше-
ніи газовъ между собою. При этомъ, согласно опытамъ Даль-
тона и другихъ, допускается что наибольшее количество пара
способное заключаться въ данномъ объемѣ газа равняется
тому какое насытило бы этотъ объемъ еслибъ онъ былъ пус-
той; другими словами что пары въ воздухѣ и газахъ (не дѣй-
ствующихъ на нихъ химически) слѣдуютъ тѣмъ же законамъ
образованія какъ и въ пустотѣ, съ тою только разницею что

въ газахъ соотвѣтствующее данной температурѣ давленіе устанавливается медленно, тогда какъ въ пустотѣ оно достигается весьма быстро.

Такимъ образомъ, чтобы выразить вѣсъ объема V воздуха насыщеннаго водянымъ газомъ при температурѣ t^0 и оказывающаго барометрическое давленіе H, мы должны разсматривать этотъ воздухъ какъ совмѣщеніе въ объемѣ V объема V пара,—насыщающаго пространство и имѣющаго упругость F, соотвѣтствующую насыщенію при t^0,—съ объемомъ V сухаго воздуха, имѣющаго упругость $H-F$ (дабы общая упругость была $F+H-F=H$).

Вѣсъ смѣси, то-есть искомый вѣсъ π сыраго воздуха будетъ равенъ суммѣ вѣсовъ смѣшанныхъ массъ сухаго воздуха и пара.

$$\pi=1{,}293^k.\ \frac{H-F}{760}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}\cdot V+1{,}293^k.\ \frac{F}{760}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}.V.d$$

гдѣ $d=0{,}622={}^5/_8$ есть плотность водянаго пара.
Или

$$\pi=1{,}293^k.\ \frac{1}{1+\alpha t}\cdot V\left(\frac{H-F+{}^5/_8F}{760}\right)=$$

$$1{,}293^k\cdot\frac{H-{}^3/_8F}{760}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}\cdot V$$

Если паръ не насыщаетъ пространства, то вмѣсто F надо поставить f, то-есть дѣйствительную упругость какую имѣетъ паръ.

Выведенная формула имѣетъ приложеніе къ опредѣленію потери вѣса испытываемой въ воздухѣ тѣломъ имѣющимъ объемъ V. На эту потерю при точныхъ взвѣшиваніяхъ должно быть обращаемо вниманіе.

Такъ какъ вѣсъ π пара насыщающаго объемъ V воздуха выражается формулою

$$\pi=1{,}293^k\cdot\frac{F}{760}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}\cdot V\cdot d\ ;$$

вѣсъ же π' заключающагося въ такомъ же объемѣ ненасыщающаго воздухъ пара, имѣющаго упругость f, формулою

$$\pi'=1{,}293^k\ \frac{f}{760}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}.V.d$$

то отношеніе $\frac{\pi'}{\pi}$ называемое (§ 205) *влажностію* воздуха будетъ

$$\frac{\pi'}{\pi}=\frac{f}{F}\ .$$

При опредѣленіи влажности можно, слѣдовательно, съ одинаковымъ результатомъ разсматривать отношеніе количествъ пара или отношеніе упругостей (сравни §§ 207 и 196).

Если назовемъ влажность буквою e, то f въ предыдущихъ формулахъ можно замѣнить величиною eF, гдѣ F упругость насыщенія.

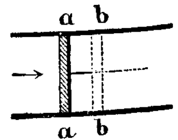
§ 477. Теорія психрометра. (См. § 206). Согласно изслѣдованіямъ Дальтона, количество воды испаряющейся въ воздухѣ съ данной поверхности S въ данное время, зависитъ отъ степени сухости этого воздуха и пропорціонально разности упругости пара способнаго насытить этотъ воздухъ при температурѣ опыта безъ упругости въ немъ дѣйствительно находящейся, то-есть величинѣ $F-f$ (чѣмъ эта разность менѣе, то-есть чѣмъ ближе воздухъ къ состоянію насыщенія тѣмъ слѣдовательно менѣе количество испаренія; оно наибольшее въ сухомъ воздухѣ, когда $f=o$). Съ другой стороны количество это тѣмъ значительнѣе чѣмъ менѣе давленіе воздуха замедляющее испареніе, вообще обратно пропорціонально давленію воздуха H. Оно можетъ быть выражено слѣдовательно формулою $C(F-f).S$, гдѣ C нѣкототорый постоянный коеффиціентъ.

Мокрый термометръ психрометра пріобрѣтаетъ температуру t' меньшую температуры t воздуха, потому что на поверхности S его шарика происходитъ испареніе воды, и теплота сообщаемая шарику воздухомъ и окружающими предметами, вмѣсто того чтобы нагрѣть его до t^0 поглащается образующимся паромъ. Такъ какъ, по предыдущему, количество образующагося пара пропорціонально величинѣ $\frac{(F-f)S}{H}$, то этой же величинѣ должно быть пропорціонально и количество доставляемой шарику теплоты. Оно можетъ быть слѣдов. выражено формулою $\frac{B(F-f).S}{H}$, гдѣ B коеффиціентъ. Съ другой стороны, по закону охлажденія и нагрѣванія Ньютона (§ 434) шарикъ пріобрѣтаетъ отъ воздуха и окружающихъ предметовъ количество теплоты пропорціональное избытку температуры воздуха и предметовъ надъ его температурою, количество которое можно выразить формулою $D(t-t').S$, гдѣ D постоянный коеффиціентъ. Приравнивая два полученныя выраженія, будемъ имѣть

$$D(t-t')S=\frac{B(F-f).S}{H}\quad \text{или}$$

величина. Такая кривая кривая есть *гипербола.* При другой температурѣ имѣли бы другую гиперболу и могли бы построить цѣлый рядъ изотермныхъ кривыхъ.

. Не трудно показать что на чертежѣ изображающемъ связь между давленіемъ и объемомъ данной массы газа изображается вмѣстѣ съ тѣмъ величина работы производимой расширяющимся газомъ или потребляемой газомъ сжимаемымъ. Дѣйствительно, представимъ себѣ что данная масса газа заключена въ нѣкоторомъ цилиндрѣ (фиг. 698) и давитъ на поршень *aa*. Пусть газъ оказываетъ на каждую единицу поверхности давленіе p, а слѣд. на поршень *aa* если его площадь есть ω, давленіе $p.\omega$. Когда поршень передвинутъ газомъ на малое протяженіе $ab=h$, то работа имъ произведенная выразится величиною $p.\omega.h$ ибо на маломъ протяженіи h можно величину p считать неизмѣнявшеюся замѣтно. Но $\omega.h$ есть приращеніе объема газа, которое назовемъ Δv. Слѣдов. элементарная работа на маломъ протяженіи h будетъ $p.\Delta v$.

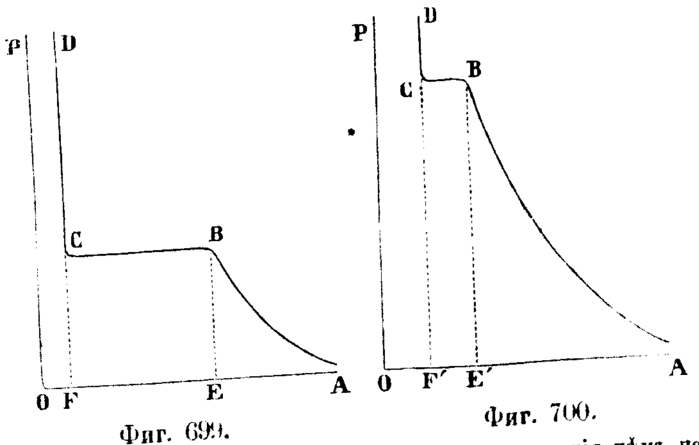


Фиг. 698.

Подобнымъ образомъ на фиг. 697 величину элементарной работы газа при расширеніи отъ объема OA до объема Oa (когда объемъ получитъ приращеніе $\Delta v=Aa$) можно разсматривать какъ площадь элементарной полоски $ABca$. Элементарная работа производимая газомъ на маломъ протяженіи начиная съ момента когда его объемъ есть Om, давленіе mn,—выразится элементарною полоскою $mnn'm'$. Такъ какъ изъ подобныхъ полосокъ слагается вся площадь, $ABCD$ то заключаемъ что полная работа газа, при расширеніи отъ OA до OD выразится величиною площади.

§ 480. Явленія сопровождающія сжатіе, при разныхъ температурахъ, газообразныхъ тѣлъ способныхъ обращаться въ жидкости. Любопытно изслѣдованіе изотермныхъ линій въ случаѣ газообразныхъ тѣлъ, способныхъ обращаться въ парообразное и жидкое состояніе (таковы, напримѣръ, углекислота и пары изслѣдуемые начиная отъ того состоянія когда они не насыщаютъ пространства). Тѣла эти, пока не насытили пространства, приблизительно, слѣдуютъ закону Маріотта. Представимъ себѣ килограммъ воды въ состояніи пара при 100° распространенный въ пространствѣ 50 кубическихъ метровъ. Такой паръ не насыщаетъ пространства. Не трудно найти что упругость его будетъ около 26 миллиметровъ. Станемъ уменьшать объемъ этого пара, то-есть сжимать его, сохраняя температуру 100°; и будемъ графически (фиг. 699) изображать давленія соотвѣтствующія уменьшающимся объемамъ. Тогда, пока паръ не насытитъ пространства (а насытитъ онъ его когда объемъ уменьшится до OF=1,65 куб. метровъ), кривая AB будетъ мало отличаться отъ гиперболы требуемой закономъ Маріотта. Съ момента насыщенія, когда паръ пріобрѣтаетъ, со-

образно температурѣ 100, упругость равную одной атмосферѣ, уменьшеніе объема не будетъ сопровождаться увеличеніемъ упругости или давленія; изотермная линія BC сдѣлается прямою горизонтальною линіею. Но при этомъ уменьшеніе объема будетъ сопровождаться обращеніемъ части пара въ жидкость. Такъ будетъ продолжаться пока весь паръ превратится въ воду, что̀ наступитъ когда пространство занимаемое разсматриваемымъ веществомъ уменьшится до кубическаго дециметра съ небольшимъ и сдѣлается все наполненнымъ водою въ жидкомъ состояніи. Если бы мы продолжали уменьшеніе объема, то потребовалось бы огромное увеличеніе давленія, чтобъ объемъ хотя немного уменьшился (такъ какъ жидкости суть тѣла очень трудно сжимаемыя). Изотермная линія CD сдѣлается почти вертикальною. Если бы температура была не 100° но болѣе, напримѣръ, 200°, то первоначальное давленіе, соотвѣтствующее объему 50 куб. метровъ было бы нѣсколько болѣе чѣмъ въ первомъ случаѣ. Объемъ $ABOE'$, до какого надлежитъ довести сжимаемый паръ, пока онъ насытитъ занимаемое пространство, былъ бы значительно меньше чѣмъ объемъ OE въ первомъ случаѣ, ибо при высшей температурѣ требуется болѣе пара для насыщенія даннаго пространства чѣмъ при низшей. По этому изотермная линія AB соотвѣтствующая газообразно-



Фиг. 699.

Фиг. 700.

му состоянію имѣетъ на фиг. 699 болѣе протяженія чѣмъ на фиг. 700. Когда паръ достигъ насыщенія, упругость не будетъ болѣе увеличиваться, изотермная линія сдѣлается прямою BC и останется таковою до того объема OF' при которомъ весь паръ обратится въ жидкость. Объемъ этотъ будетъ нѣсколько болѣе чѣмъ соотвѣтствующій объемъ OF на фиг. 699,

$$D(t-t') = \frac{B}{H}(F-f)$$

Отсюда искомая величина

$$f = F - AH(t-t'),$$

если примемъ что

$$\frac{D}{B} = A.$$

Коэффиціентъ A можно опредѣлить опытомъ, сравнивая показанія психрометра съ данными доставляемыми химическою методою опредѣленія влажности. Коэффиціентъ A можетъ быть также опредѣленъ на основаніи теоретическихъ соображеній, изложеніе которыхъ опускаемъ.

§ 478. Задачи. 1. Кубическій метръ воздуха при 0° и давле-
ніи 760 миллиметровъ вѣситъ 1,293 килограмма. Опредѣлить
вѣсъ объема V воздуха при t^0 и давленіи H. Коэффиціентъ
расширенія воздуха $0{,}00367 = {}^1/_{273}$. При какой температурѣ
куб. метръ воздуха вѣситъ 1 килограммъ подъ давленіемъ H?

2. Подъ какимъ давленіемъ должна находиться при t^0 уголь-
ная кислота, для того чтобы плотность ея при этой темпера-
турѣ равнялась плотности водорода при t'^0 и давленіи H плот-
ность углекислоты 1,524; водорода 0,0693)?

3. Вычислить вѣсъ V куб. метровъ сыраго воздуха при t^0 и
давленіи H, если влажность этого воздуха (отношеніе количе-
ства или упругости находящагося въ немъ пара къ количеству
или упругости, соотвѣтствующимъ насыщенію при этой темпе-
ратурѣ) выражается числомъ e. Плотность водяного пара=0,622.

4. Баллонъ, вмѣщающій въ себѣ V куб. дециметровъ возду-
ха подъ давленіемъ 760 миллим. приводится въ сообщеніе съ
другимъ пустымъ баллономъ, вмѣстимость котораго равняется
V' куб. децим. Спрашивается какъ великъ вѣсъ воздуха, оста-
вшагося въ первомъ баллонѣ (во время опыта температура
предполагается постоянной и равной 0°). Что будетъ если тем-
пература перваго баллона сдѣлается равною t^0, а втораго t'^0?

5. Надъ водою собрано V куб. дециметровъ газа, подъ да-
вленіемъ H и при температурѣ t^0. Какъ великъ будетъ объемъ
этого газа, когда онъ будетъ осушенъ и приведенъ къ 0° тем-
пературы и давленію 760 миллиметровъ? (Газъ до осушенія
можно считать насыщеннымъ паромъ; упругость пара насыща-
ющаго пространство при t^0 предполагается извѣстною).

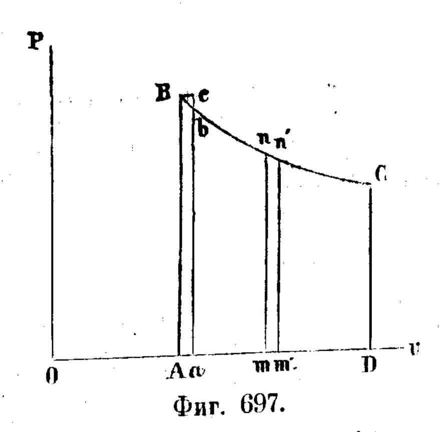
6. Опредѣлить объемъ занимаемый p граммами сухаго воз-
духа или другаго газа (котораго плотность извѣстна) при t^0 и
давленіи H. Та же задача въ случаѣ сыраго воздуха или газа
(при опредѣленныхъ условіяхъ влажности). Опредѣленный объ-

емъ воздуха, насыщеннаго паромъ, при t^0 и давленіи H вѣситъ p граммовъ. Какъ великъ вѣсъ такого же объема сухаго воздуха при 0° и давленіи 760 миллиметровъ?

7. Какъ великъ вѣсъ воды, содержащейся въ V кубическихъ центиметрахъ газа, насыщеннаго паромъ при t^0 (упругость f пара при этой температурѣ предполагается извѣстной)? Тотъ же вопросъ въ случаѣ, если газъ не насыщенъ, и содержитъ только половину того количества пара, какое онъ содержалъ бы въ случаѣ насыщенія.

Вѣсъ p сыраго газа (при извѣстной влажности) занимаетъ объемъ V при t^0 и давленіи H. Какой объемъ будетъ онъ занимать при t'^0 и давленіи H'?

§ 479. Графическое изображеніе связи между давленіемъ и объемомъ данной массы газа. Изотермныя линіи. Работа расширяющагося газа. Проведемъ (фиг. 697) двѣ линіи—горизонтальную OV и вертикальную OP. Отложимъ на горизонталь-



Фиг. 697.

ной линіи части OA, Om, OD... изображающія величины объема
данной массы газа въ разныхъ случаяхъ. При точкахъ A, m, D...
возставимъ перпендикуляры, которые пусть представляютъ да-
вленія газа соотвѣтствующія объемамъ OA, Om, OD... Кривая
линія BC соединяющая вершины перпендикуляровъ изобразитъ
законъ измѣненія давленія въ зависимости отъ измѣненія объ-
ема въ данномъ случаѣ. Въ случаѣ если температура газа,
объемъ котораго измѣняемъ, сохраняется постоянною, кривая
эта называется *изотермною* и ея видъ не трудно опредѣлить,
ибо при постоянной температурѣ связь между давленіемъ и
объемомъ данной массы газа выражается закономъ Маріотта.
Согласно этому закону произведеніе давленія p на объемъ v
должно быть постояннымъ, то-есть $p \cdot v = a$, гдѣ a постоянная

ибо жидкость при высшей температурѣ, вслѣдствіе расширенія, имѣетъ вообще большій объемъ чѣмъ при низшей. Сравнивая фиг. 699 и фиг. 700 можемъ заключить что по мѣрѣ повышенія температуры промежутокъ CB,—соотвѣтствующей тому состоянію когда происходитъ сгущеніе газа въ жидкость и въ пространствѣ занимаемомъ тѣломъ часть находится въ жидкомъ, часть въ газообразномъ состояніи,—становится менѣе и менѣе. Можно думать что при достаточно возвышенной температурѣ части AB и CD, соотвѣтствующія: AB газообразному, CD жидкому состоянію тѣла должны слиться въ одну непрерывную линію; переходъ отъ газообразнаго состоянія въ жидкое долженъ сдѣлаться незамѣтнымъ и обыкновенный процессъ сгущенія,—при которомъ обратившаяся уже въ жидкость часть тѣла отличается отъ сохраняющей еще газообразное состояніе и общая масса оказываетъ неизмѣняющееся давленіе не смотря на постепенное уменьшеніе объема,—долженъ отсутствовать въ опытѣ. Знаменитыя изслѣдованія Андрюса надъ сжатіемъ углекислоты (о которыхъ было уже говорено въ § 200) подтверждаютъ это заключеніе. На фиг. 701 изображены изотермныя линіи углекислоты, соотвѣтствующія тремъ температурамъ. Нижняя—температурѣ 21°,5. При этой температурѣ, когда масса углекислоты сжата до нѣкотораго опредѣленнаго объема OE, начинается обращеніе ея въ жидкое состояніе подъ давленіемъ около 60 атмосферъ. Въ трубкѣ съ тонкимъ каналомъ заключавшемъ въ себѣ углекислый газъ,—сжимавшійся ртутью, которая втѣснялась снизу въ трубку дѣйствіемъ винта,—можно было замѣтить черту раздѣленія между жидкою и газообразною углекислотою. Когда объемъ доведенъ былъ до величины изображаемой линіею OF,—приблизительно до трети объема OE,—весь газъ обратился въ жидкость. Промежутокъ CB соотвѣтствуетъ промежутку CB на фигурахъ 699 и 700. Вторая кривая соотвѣтствуетъ температурѣ 31°,1, немного превышающей температуру наименованную Андрюсомъ *критической*. „Эта критическая температура, говоритъ Максвелъ,—у котораго заимствованы предыдущія соображенія,—указана Андрюсомъ при 30,92 Ц. При этой температурѣ и давленіи отъ 73 до 75 атмосферъ углекислота находится, по видимому, въ критическомъ состояніи. Нельзя замѣтить никакого раздѣленія между жидкостію и паромъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ самое небольшое измѣненіе давленія или

Фиг. 701.

температуры производитъ такое измѣненіе плотности что въ трубкѣ замѣчается волнистое движеніе „уподобляющееся въ „усиленной формѣ тому что наблюдаемъ при смѣшеніи жидко„стей разной плотности или когда теплый столбъ восходитъ „среди холодныхъ слоевъ.“ Изотермная линія для 31°,1 проходитъ выше критической точки. Во все время сжатія, тѣло никогда не бываетъ въ двухъ разныхъ состояніяхъ въ различныхъ частяхъ трубки. Когда давленіе менѣе 73 атмосферъ изотермная линія, хотя и значительно площе чѣмъ линія въ случаѣ совершеннаго газа, сходствуетъ съ нею въ главномъ очертаніи. Отъ 73 до 75 атмосферъ объемъ быстро уменьшается, но не вдругъ; а выше этого давленія уменьшается медленнѣе чѣмъ въ случаѣ газа, но во всякомъ случаѣ быстрѣе чѣмъ въ случаѣ большинства жидкостей“.

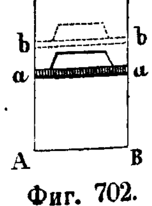
Въ изотермныхъ линіяхъ, соотвѣтствующихъ 32° и 35°,5 (на чертежѣ неизображенныхъ) еще можно замѣтить нѣкоторое увеличеніе сжимаемости около объема OF. При 48° кривая не представляетъ вовсе изгиба и подобна изотермной линіи газовъ.

„Начнемъ опытъ съ углекислотою при 13° и нагрѣемъ ее выше 30°,9 то-есть выше критической точки. Затѣмъ постепенно увеличимъ давленіе до 100 атмосферъ. Во время этого процесса никакого признака обращенія въ жидкость не замѣтимъ. Наконецъ охладимъ газъ опять до 13°, сохраняя давленіе 100 атмосферъ. Во время этого процесса нельзя замѣтить никакого вдругъ происходящаго измѣненія состоянія, но углекислота при 13° и давленіи 100 атмосферъ имѣетъ несомнѣнно всѣ свойства жидкости. При температурѣ 13° мы не можемъ обратить углекислоту въ жидкое состояніе безъ сгущенія наступающаго съ извѣстнаго момента; но указаннымъ процессомъ,—когда давленіе прилагается при высокой температурѣ,—мы можемъ заставить тѣло отъ состоянія несомнѣнно газообразнаго перейти къ состоянію несомнѣнно жидкому безъ всякаго внезапнаго измѣненія подобнаго обыкновенному обращенію въ жидкость“.

§ 481. Удѣльная теплота газовъ при постоянномъ давленіи и постоянномъ объемѣ. Теоретическій выводъ величины механическаго эквивалента тепла. Различаютъ удѣльную теплоту газа *при постоянномъ давленіи* и удѣльную теплоту газа *при постоянномъ объемѣ*. Удѣльная теплота *при постоянномъ объемѣ* есть то количество тепла какое потребно для нагрѣванія единицы вѣса газа на одинъ градусъ въ случаѣ когда газу не дозволяютъ расширяться, сохраняя его въ опредѣленномъ неизмѣняемомъ объемѣ. Теплота принимаемая газомъ въ этомъ случаѣ идетъ на увеличеніе молекулярнаго движенія его частицъ, порождающаго повышеніе температуры. Удѣльная теплота газа *при постоянномъ давленіи* есть то количество тепла какое потребно для нагрѣванія на одинъ градусъ единицы вѣса газа въ слу-

чаѣ когда газъ имѣетъ свободу расширяться и дѣйствительно расширяется, сохраняя постоянную упругость и побѣждая нѣкоторое постоянное препятствіе (напримѣръ давленіе атмосферы). Теплота въ этомъ случаѣ идетъ не на нагрѣваніе только, но отчасти тратится на работу расширенія вопреки давленію подъ какимъ находится газъ. Удѣльная теплота при постоянномъ давленіи должна быть потому значительнѣе удѣльной теплоты при постоянномъ объемѣ. Указывая лишь два дѣйствія, на какія идетъ теплота, мы тѣмъ самымъ предполагаемъ что съ частицами газа при нагрѣваніи никакого другаго измѣненія кромѣ усиленія ихъ движенія, обнаруживающагося возвышеніемъ температуры,—никакой *внутренней работы*,—не происходитъ, или, по крайней мѣрѣ, что *весь* избытокъ теплоты, требуемой для опредѣленнаго нагрѣванія газа при постоянномъ давленіи надъ теплотою, требуемой для того же нагрѣванія при постоянномъ объемѣ идетъ на произведеніе работы расширенія вопреки внѣшнему давленію.

Принявъ эти положенія и зная изъ опыта величину удѣльной теплоты въ обоихъ указанныхъ случаяхъ, можно теоретически опредѣлить эквивалентъ теплоты. Имѣемъ въ цилиндрѣ подъ поршнемъ aa (фиг. 702), котораго площадь назовемъ буквою ω килограммъ воздуха, при 0° и подъ давленіемъ атмосферы. Объемъ его v будетъ слѣдовательно $\frac{1}{1,293}$ куб. метра.*) Давленіе атмосферы можно сравнить съ давленіемъ нѣкотораго груза, лежащаго на поршнѣ и величину котораго не трудно опредѣлить, принявъ въ соображеніе что давленіе атмосферы отнесенное къ квадр. метру есть P=10336 килограммовъ. Давленіе на площадь поршня, то-есть величина воображаемаго груза будетъ $P.\omega$. Нагрѣемъ газъ на одинъ градусъ, позволяя ему расширяться. Поршень подымется на высоту h и работа расширенія будетъ слѣдов. $P.\omega.h$. Но $\omega.h$ есть приращеніе $abba$ объема соотвѣтствующее возвышенію температуры на одинъ градусъ. Такъ какъ коэффиціентъ расширенія воздуха есть $\alpha=\frac{1}{273}$, то это приращеніе



Фиг. 702.

$$\omega h = \alpha\, v = \alpha\,.\frac{1}{1,293} = \frac{1}{273\,.\,1,293}$$

Слѣд. работа

*) Ибо изъ формулы (стр. 898) $p = 1,293^k \cdot \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot v$ при $p=1$, $H=760$, $t=o$ имѣетъ $1=1,293\,.\,v$ откуда и получаемъ искомый объемъ.

$$P\omega h = \frac{10336}{273\,.\,1,293}$$

Еслибы разсматриваемый килограммъ воздуха былъ нагрѣтъ на одинъ градусъ безъ расширенія, то на это потребовалось бы количество c теплоты, означающее удѣльную теплоту воздуха при постоянномъ объемѣ. Изъ опыта извѣстно что c=0,16844. Но воздухъ нагрѣвается расширяясь; потребное для этого количество теплоты C (удѣльная теплота при постоянномъ давленіи) также извѣстно изъ опыта; оно есть C=0,23751. Избытокъ $C-c$=0.06097 есть именно то количество тепла которое потрачено на произведеніе работы $P.\omega h$. Назвавъ буквою E механическій эквивалентъ теплоты, то-есть величину работы производимой единицею теплоты при ея превращеніи въ работу, можемъ работу производимую количествомъ $C-c$ теплоты выразить величиною $E(C-c)$. Приравнивая два выраженія работы, имѣемъ:

$$P\omega h = E(C-c).$$

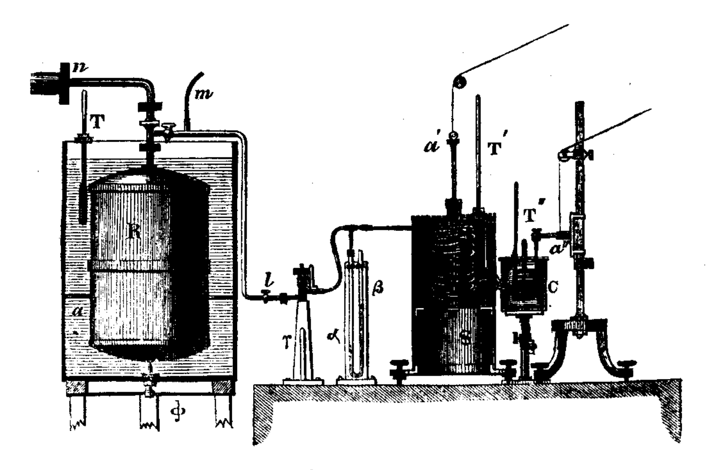
Откуда $E = \frac{P\omega h}{C-c} = \frac{10336}{273\,.\,1,293\,.\,0,069} = $ **424,4 килограмм.**

Число весьма близкое къ найденному помощію опыта.

Оставляя въ сторонѣ описаніе тѣхъ болѣе или менѣе непрямыхъ пріемовъ помощію которыхъ опредѣляется удѣльная теплота при постоянномъ объемѣ, ограничимся указаніемъ опытовъ, помощію которыхъ опредѣляется удѣльная теплота газовъ при постоянномъ давленіи.

Фиг. 703 даетъ понятіе о методѣ, помощію какой Реньйо опредѣлялъ удѣльную теплоту газовъ при постоянномъ давленіи. Газъ накачивался въ резервуаръ R окруженный водою при постоянной температурѣ. Упругость газа измѣрялась манометромъ (двухколѣнная трубка со ртутью; газъ давитъ на ртуть ея короткаго колѣна и поднимаетъ ее въ весьма длинномъ открытомъ колѣнѣ до опредѣленной высоты, свидѣтельствующей подъ какимъ давленіемъ находится газъ). Газъ чрезъ каналъ l и малое отверстіе, которое можно съуживать и расширять, проходилъ въ змѣевидную трубку, погруженную въ масло нагрѣваемое въ сосудѣ S до высокой температуры (150°, 200° и т. под.). Малый манометръ $\alpha\beta$ показывалъ какое давленіе оказывалъ текущій въ змѣевикъ газъ по прохожденіи чрезъ малое отверстіе (давленіе это гораздо меньше давленія въ резервуарѣ). Во все время опыта высота жидкости въ манометрѣ $\alpha\beta$ должна быть неизмѣнною, чтобы газъ текъ при постоянномъ давленіи. Для этого, по мѣрѣ ослабленія давленія въ резервуарѣ, малое от-

верстіе нѣсколько рнсширяютъ движеніемъ винта запирающаго его болѣе или менѣе. Нагрѣтый газъ вступаетъ въ калори-



Фиг. 703.

метръ C, состоящій изъ наружнаго сосуда съ двойными стѣнками, заключающаго въ себѣ воду омывающую внутренній сосудъ съ длиннымъ каналомъ, чрезъ который проходитъ газъ, выходя въ воздухъ. Такимъ образомъ постоянный потокъ нагрѣтаго газа проходитъ чрезъ калориметръ оставляя теплоту и выходя изъ калориметра при температурѣ равной температурѣ окружающей воды. Количество прошедшаго въ данное время газа можно знать по убыли его въ резервуарѣ (ее можно опредѣлить на основаніи показаній большаго манометра). Теплота утраченная газомъ вошедшимъ въ калориметръ при T^{0}, вышедшемъ при t^{0}, пріобрѣтена водою и металломъ калориметра, и можетъ быть измѣрена съ точностію. Узнавъ ея количество, не трудно вычислить удѣльную теплоту изслѣдуемаго газа.

§ 482. Термическія явленія сопровождающія расширеніе и сжатіе газовъ. Термическими явленіями сопровождающими сжатіе и расширеніе газовъ Джоль воспользовался для опредѣленія механичесяаго эквивалента теплоты путемъ опыта. Для этой цѣли онъ сжималъ воздухъ до упругости двадцати атмосферъ въ металлическомъ резервуарѣ, помощію небольшаго сжимающаго насоса, при чемъ и резервуаръ и насосъ помѣщались среди воды калориметра достаточныхъ размѣровъ. Работа набюдателя двигавшаго поршнемъ шла, очевидно, на два дѣйствія: треніе поршня и сжатіе газа. Теплоту порождавшуюся треніемъ можно было опредѣлить, двигая поршень безъ сжатія газа. Избытокъ,

обнаружившійся когда движеніе сопровождалось сжатіемъ, показывалъ сколько теплоты развивается при сжатіи массы газа наполнявшей резервуаръ отъ объема какой она занимала подъ давленіемъ атмосферы до объема приблизительно въ двадцать разъ меньшаго. Работа, произведшая это сжатіе, вычислялась на основаніи закона Маріотта. Эти два данныя: работа и произведенная ею теплота позволяли опредѣлить эквивалентъ.

Въ другомъ рядѣ опытовъ, Джоль выпускалъ сжатый до 29 атмосферъ газъ изъ резервуара, помѣщеннаго среди воды калориметра. Выходившій газъ пузырями поднимался въ сосудъ наполненный водою и опрокинутый открытымъ концемъ внизъ надъ водяною ванною. Газъ, восходя вверхъ сосуда, вытѣснялъ изъ него воду, дѣйствуя на ея поверхность какъ на поршень, удерживаемый силою равною атмосферному давленію. Повторяя наполненіе до тѣхъ поръ пока выходилъ весь воздухъ нажатый въ резервуаръ, можно было замѣтить и измѣрить охлажденіе обнаруживающееся при такомъ двадцати-кратномъ расширеніи газа вопреки атмосферному давленію. Работу произведенную газомъ можно разсматривать какъ поднятіе поршня обремененнаго давленіемъ равнымъ атмосферному, на высоту соотвѣтствующую двадцатикратному расширенію участвовавшей въ опытѣ массы газа. Утраченная теплота и произведенная работа служили данными для опредѣленія эквивалента.

Расширеніе не сопровождающееся произведеніемъ работы не влечетъ за собою охлажденія расширяющейся массы газа. Джоль оправдалъ это положеніе, помѣстивъ среди воды большаго калориметра два резервуара, изъ которыхъ въ одномъ былъ значитсльно сжатый газъ, въ другомъ пустота. Когда резервуары были приведены въ сообщеніе, газъ расширялся переходя въ пустой резервуаръ, пока въ обоихъ резервуарахъ устанавливалось равное давленіе. Ни малѣйшаго измѣненія температуры воды калориметра не было замѣтно. Но если резервуары были помѣщены каждый въ свой особый калориметръ, то можно было замѣтить что резервуаръ выпускавшій газъ нѣсколько охлаждался, тогда какъ принимавшій на столько же нагрѣвался. Помощію другой методы можно, впрочемъ, обнаружить, въ случаѣ многихъ газовъ, нѣкоторое охлажденіе при расширеніи безъ внѣшней работы, вслѣдствіе слабаго поглощенія теплоты внутреннею работою.

§ 483. Отличіе физическихъ явленій отъ явленій химическихъ. Въ основаніе теоретическаго объясненія *физическихъ* явленій полагается допущеніе что тѣла состоятъ изъ отдѣльныхъ частицъ подверженныхъ взаимнымъ дѣйствіямъ. Для уясненія такъ называемыхъ *химическихъ* явленій, то-есть такихъ которыя сопровождаются измѣненіемъ самаго состава тѣлъ и образованіемъ новыхъ тѣлъ отличныхъ отъ тѣхъ которые приведены во взаимодѣйствіе, требуется допустить что самыя частицы подлежатъ раздробленію, состоя въ свою очередь изъ

частей которыя могутъ быть названы *атомами*. Согласно такому допущенію мы назовемъ явленіе физическимъ если оно не сопровождается раздробленіемъ частицъ; химическимъ, если происходитъ раздробленіе и новая группировка атомовъ. При этомъ надлежитъ допустить, что и въ тѣлахъ химически простыхъ частицы состоятъ каждая изъ нѣсколькихъ, вообще изъ двухъ (если нѣтъ основанія предполагать бо́льшее число) *однородныхъ* атомовъ, Отдѣльный атомъ не можетъ составлять физической частицы, а непремѣнно въ соединеніи съ другимъ однороднымъ или разнороднымъ. Въ этомъ смыслѣ атомовъ отдѣльно не бываетъ, а всегда группа по крайней мѣрѣ двухъ, и въ химическихъ процессахъ за раздробленіемъ частицъ на атомы тотчасъ слѣдуетъ ихъ новая группировка въ частицы.

IV. Междучастичная среда.

§ 484. Лучистое распространеніе тепла и свѣта чрезъ эѳиръ. Для объясненія лучистаго распространенія темной и свѣтлой теплоты, допускаютъ что все пространство, какъ между тѣлами разсѣянными во вселенной, такъ и между частицами каждаго тѣла, наполнено тончайшей формой вещества, именуемой *эѳиромъ*. Частицы изъ которыхъ слагается масса тѣла твердаго, жидкаго или газа, помѣщены въ эѳирѣ какъ поплавки среди жидкой массы. При посредствѣ эѳира происходитъ передача лучистаго дѣйствія отъ одной частицы къ другой, или отъ цѣлаго тѣла къ другому, подобно тому какъ дрожательное движеніе, въ ка́комъ находится звучащее тѣло, черезъ воздухъ передается окружающимъ предметамъ.

Передача тепловыхъ и свѣтовыхъ колебаній, какъ и передача звука, происходитъ по законамъ *волнообразнаго* движенія. Наблюденіе волнъ на поверхности воды, а еще лучше слѣдующій опытъ могутъ дать наглядное представленіе о томъ что̀ разумѣется подъ именемъ движенія этого рода. Представимъ себѣ прямолинейный рядъ маятниковъ, и пусть каждый изъ нихъ на одинаковый уголъ и въ одинаковомъ направленіи выведенъ изъ положенія равновѣсія и удерживается въ этомъ отклоненномъ состояніи. Станемъ послѣдовательно пускать ихъ въ движеніе, начиная съ перваго и переходя чрезъ равные промежутки времени къ слѣдующимъ. Каждый маятникъ совершаетъ то же движеніе какъ предстоящіе ему и слѣдующіе за нимъ, но одинаковые моменты движенія не совпадаютъ между собою, и первый маятникъ пройдетъ уже извѣстный путь, когда нѣкоторый другой только начинаетъ движеніе. Пусть, напримѣръ, первый окончилъ полный размахъ взадъ и впередъ, въ моментъ когда тринадцатый только что пускается. Разстоянія ихъ раздѣляющіе можетъ быть названо *длиною волны* и въ дальнѣйшемъ движеніи они будутъ постоянно находиться въ одинаковомъ состояніи. То же можно сказать о второмъ и четырнадцатомъ и т. д., вообще о каждыхъ двухъ находящихся между собою на разстояніи длины волны. Находящіеся на разстояніи половины волны имѣютъ противоположное движеніе.

Вслѣдствіе предположенной постепенности пусканія, можно сказать что то состояніе въ какомъ, въ данное мгновеніе, находится разсматриваемый маятникъ пріобрѣтается однимъ изъ послѣдующихъ лишь чрезъ нѣсколько времени. Сказанное объ одномъ маятникѣ можно распростренить на цѣлую волну и сказать что то состояніе, въ какомъ въ данное мгновеніе находится система маятниковъ составляющая волну постепенно захватываетъ новые и новые маятники перемѣщаясь равномѣрнымъ движеніемъ. Маятники качаются каждый около своего положенія равновѣсія; *волна* имѣетъ поступательное движеніе вдоль прямой линіи, соединяющей положенія равновѣсія маятниковъ (лучъ волнообразнаго движенія).

Мы не условились въ томъ какое направленіе имѣютъ плоскости качанія нашихъ маятниковъ относительно луча распространенія. Здѣсь представляются два главные случаяИли плоскости эти совпадаютъ въ одну,

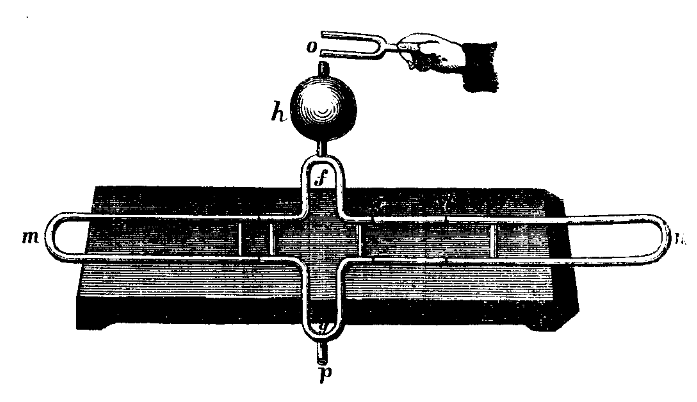
заключающую въ себѣ лучъ. Маятники качаются слѣдовательно *вдоль* луча распространенія, въ разные моменты то сближаясь между собою, то удаляясь одинъ отъ другаго. Или плоскости эти параллельны между собою и перпендикулярны къ направленію луча. Маятники качаются *поперечно* относительно луча.

Если мы мысленно замѣнимъ маятники частицами среды, въ которой происходитъ волнообразное движеніе, или лучше слоями среды перпендикулярными къ лучу распространенія этого движенія, то получимъ весьма наглядное представленіе о томъ какъ въ простѣйшихъ случаяхъ происходитъ распространеніе звуковыхъ и свѣтовыхъ волнъ. Колебанія какими распространяется звукъ происходятъ вдоль луча—*продольныя* колебанія: качающіеся слои то сближаются, то взаимно удаляются и распространеніе движенія сопровождается сжатіемъ и разрѣженіемъ среды (какъ мы уже объясняли говоря въ § 109 объ образованіи сжатыхъ и разрѣженныхъ звуковыхъ волнъ). Колебанія помощію которыхъ распространяется свѣтъ суть *поперечныя*; распространеніе свѣта въ эѳирѣ не сопровождается измѣненіями плотности этой среды; свѣтовыя волны не бываютъ сжатыя и разрѣженныя какъ волны звука. Слои эѳира перпендикулярные къ лучу свѣта, качаясь, скользятъ одинъ по другому, не сближаясь между собою и не удаляясь взаимно. Качанія частицъ воды, чрезъ которыя проходятъ волны бѣгущія по водной поверхности, также приблизительно можно разсматривать какъ поперечныя (поплавокъ помѣщенный на водѣ при прохожденіи волнъ подымается и затѣмъ опускается, не перемѣщаясь вдоль направленія по какому бѣжитъ волна). Потому сравненіе водяныхъ волнъ съ волнами звука и свѣта точнѣе по отношенію къ свѣтовымъ, чѣмъ къ звуковымъ волнамъ.

§ 485. Интерференція волнообразныхъ движеній. Примѣръ интерференціи представляемый случаемъ пересѣченія водяныхъ волнъ. Объ интерференціи водяныхъ и звуковыхъ волнъ было уже говорено въ § 133, преимущественно словами Гельмгольтца. Приведемъ разсужденіе Френеля о томъ же предметѣ. „Всякому случалось бросая камень въ спокойную воду, замѣчать, что, когда двѣ группы волнъ пересѣкаются на ея поверхности, то бываютъ точки гдѣ она остается неподвижной (предполагаемъ системы волнъ приблизительно одинаковой силы); тогда какъ бываютъ другія, гдѣ волны вздымаются чрезъ соединеніе. Причину легко усмотрѣть. Волнообразное движеніе водяной поверхности состоитъ изъ вертикальныхъ движеній, поперемѣнно подымающихъ и опускающихъ частицы жидкости. Но вслѣдствіе перекрещенія волнъ случается что, въ нѣкоторыхъ точкахъ встрѣчи, одна изъ волнъ приноситъ восходящее движеніе, тогда какъ другая въ то же время стремится понизить поверхность жидкости; если два импульса одинаковы, жидкость не можетъ уже подчиниться одному преимущественно предъ другимъ и должна остаться въ покоѣ. Напротивъ того въ тѣхъ точкахъ встрѣчи гдѣ движенія слагаются въ одну сторону, гдѣ они постоянна согласны, жидкость гонимая въ одну сторону двумя волнами, подымается или опускается со скоростію равною суммѣ двухъ полученныхъ импульсовъ,—съ двойною въ разсматриваемомъ случаѣ, такъ какъ предполагаемъ обѣ волны равнаго напряженія. Между этими точками полнаго согласія и полной противоположности, представляющими однѣ совершенное отсутствіе движенія, другія, напротивъ, maximum колебанія жидкости, есть безконечное множество другихъ посредствующихъ точекъ, гдѣ волнообразное качаніе свершается съ большею или меньшею энергіею, смотря по тому приближается ли ихъ состояніе къ состоянію полнаго согласія или полнаго противоположенія двухъ встрѣчающихся въ нихъ движеній. Волны распространяющіяся внутри упругой жидкости (напримѣръ волны звука въ воздухѣ) хотя по природѣ своей весьма отличны отъ волнъ о которыхъ мы только что говорили, производятъ однако въ своихъ интерференціяхъ механическіе результаты совершенно аналогическіе, какъ скоро сообщаютъ частицамъ жидкости колебательныя движенія. Дѣйствительно, достаточно чтобы движенія эти были колебательныя, то-есть переносили частицы поперемѣнно въ ту и другую стороны, дабы дѣйствіе одного ряда волнъ могло быть уничтожено дѣйствіемъ другаго ряда того же напряженія. Ибо, какъ скоро разность пути двухъ группъ волнъ будетъ такова что для каждой точки жидкости движенія въ одну сторону происходящія отъ первой соотвѣтствуютъ движеніямъ въ противоположную сторону приносимымъ второю, движенія эти, если равны по напряженію, нейтрализуются взаимно и частицы жидкости остаются въ покоѣ. Этотъ

результатъ всегда имѣетъ мѣсто, каково бы ни было направленіе колебательнаго движенія относительно направленія въ какомъ распространяются волны, только бы было одинаково въ обѣихъ системахъ. Такъ, напримѣръ, въ волнахъ образующихся на поверхности жидкости, качанія происходятъ вертикально, тогда какъ волны распространяются горизонтально и слѣдовательно перпендикулярно къ направленію качаній. Въ звуковыхъ волнахъ, напротивъ того колебанія параллельны направленію по какому распространяется звукъ. Но тѣ и другія подчиняются закону интерференціи."

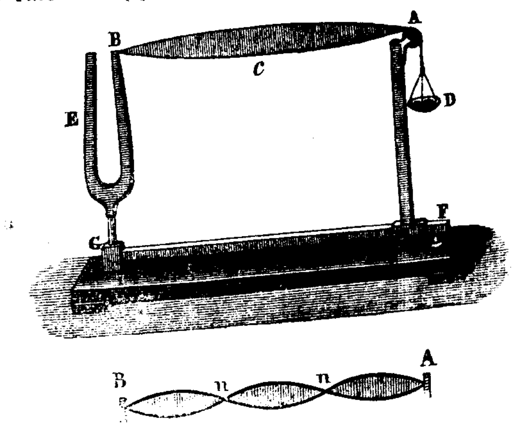
§ 486. Примѣры интерференціи въ области звука. Къ примѣрамъ интерференціи звуковыхъ волнъ указаннымъ въ § 133 присоединимъ описаніе опыта изображеннаго на фиг 704. Діапазонъ



Фиг. 704.

звучитъ предъ соотвѣтствующимъ ему резонаторомъ *h* и посылаетъ въ раздвоенный каналъ *f* попремѣнно сжатыя и разрѣженныя волны. Въ данный моментъ отъ точки *f* въ правый и лѣвый каналъ вступаютъ одинакія волны, бѣгущія потомъ равномѣрнымъ движеніемъ по трубкамъ *m* и *n*, соединяющимся въ общемъ каналѣ *gp* ведущемъ звукъ въ ухо наблюдателя. Если длина каналовъ *m* и *n* одинакова или разнится на цѣлое число полныхъ волнъ, то въ данный моментъ въ общій каналъ *gp* будутъ вступать съ обѣихъ сторонъ одинакія волны, и если, напримѣръ, справа входитъ сжатая волна, то такая же входитъ слѣва. Онѣ взаимно усиливаются, и наблюдатель слышитъ сильный звукъ. Если же разность длины каналовъ *m* и *n* равна половинѣ полной волны или нечетному числу полуволнъ, то въ каналъ *gp* будутъ постоянно приноситься противоположныя волны и если съ одной стороны приносится въ данный моментъ сжатая волна, то съ другой приходитъ разрѣженная. Волны эти будутъ взаимно уничтожаться, и наблюдатель не услышитъ звука, или, по крайней мѣрѣ, звукъ будетъ значительно ослабленъ.

Явленія представляемыя резонаторами и органными трубками объясняются интерференціею волнъ идущихъ съ волнами отраженными и суть случай обращенія бѣгущихъ волнъ въ такъназываемыя *стоячія* (то есть такихъ когда всѣ частицы составляющія волну одновременно проходятъ чрезъ соотвѣтствующія точно своихъ путей и ихъ колебанія различаются только величиною размаховъ: напримѣръ колебанія струны цѣлою длиною). Возможность образовать такого рода волны можно весьма наглядно прослѣдить на нити приводимой въ колебаніе діапазономъ, къ вѣтви котораго она прикрѣплена, какъ изображено на фиг. 705 (сравни § 136). При ослабленіи натяженія,

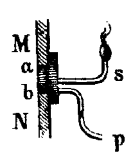


Фиг. 705.

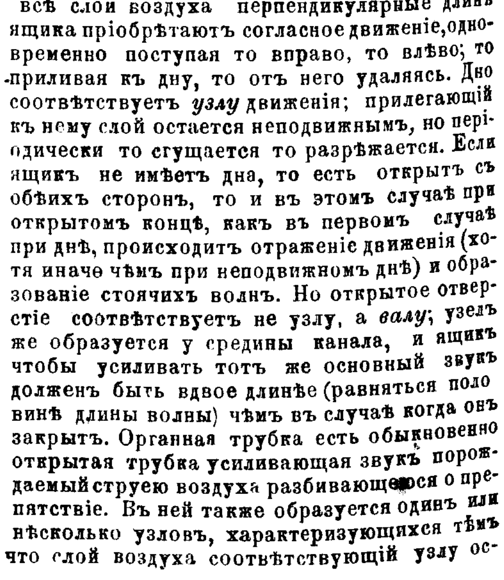
нить раздѣляется на отдѣльныя части, какъ бы отдѣльныя струны раздѣленныя неподвижными узлами. Явленіе происходитъ оттого что колебанія посылаемыя діапазономъ вдоль нити отражаются отъ препятствія *A* и, пересѣкаясь съ продолжающими бѣжать по направленію отъ *B* къ *A*, интерферируются, съ ними, производя раздѣленіе нити на стоячія волны.

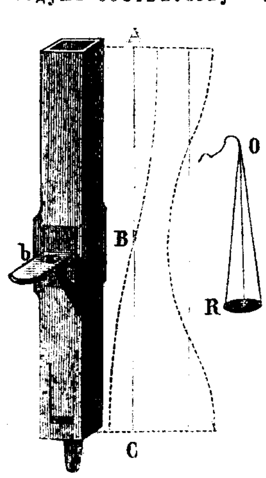
Воздушныя волны также могутъ преобразовываться изъ бѣгущихъ въ стоячія. Колебанія воздуха въ усиливающихъ звукъ ящикахъ и резонаторахъ, а также внутри органныхъ трубокъ представляютъ примѣръ такого преобразованія. Если діапазонъ колеблется предъ отверстіемъ ящика съ закрытою другою стороною, дѣлая, напримѣръ, 256 полныхъ качаній въ секунду и слѣд. посылая полныя волны около 132 центиметровъ длиною, и

если длина ящика равняется 33 центиметрамъ (четверть волны), то отраженное отъ дна ящика движеніе такъ комбинируется съ посылаемымъ, что всѣ слои воздуха перпендикулярные длинѣ ящика пріобрѣтаютъ согласное движеніе, одновременно поступая то вправо, то влѣво; то приливая къ дну, то отъ него удаляясь. Дно соотвѣтствуетъ *узлу* движенія; прилегающій къ нему слой остается неподвижнымъ, но періодически то сгущается то разрѣжается. Если ящикъ не имѣетъ дна, то есть открытъ съ обѣихъ сторонъ, то и въ этомъ случаѣ при открытомъ концѣ, какъ въ первомъ случаѣ при днѣ, происходитъ отраженіе движенія (хотя иначе чѣмъ при неподвижномъ днѣ) и образованіе стоячихъ волнъ. Но открытое отверстіе соотвѣтствуетъ не узлу, а *валу*; узелъ же образуется у средины канала, и ящикъ чтобы усиливать тотъ же основный звукъ долженъ быть вдвое длиннѣе (равняться половинѣ длины волны) чѣмъ въ случаѣ когда онъ закрытъ. Органная трубка есть обыкновенно открытая трубка усиливающая звукъ порождаемый струею воздуха разбивающеюся о препятствіе. Въ ней также образуется одинъ или нѣсколько узловъ, характеризующихся тѣмъ что слой воздуха соотвѣтствующій узлу ос-



Фиг. 707.





Фиг. 706.

Фиг. 708.

тается неподвижнымъ, тогда какъ сосѣдніе слои то притекаютъ
къ нему то отъ него удаляются. Потому при узлѣ происходитъ
быстрое періодическое измѣненіе плотности воздуха; сжатіе и
разрѣженіе непрерывно смѣняются одно другимъ. Въ открытой
органной трубкѣ издающей свой основный тонъ, узелъ нахо-
дится около средины ея длины. Если сдѣлать одну сторону тру-
бки стеклянною и опустить внутрь трубки маленькій обручикъ съ
натянутой перепонкой, на которой насыпанъ мелкій песокъ, то
по мѣрѣ приближенія къ срединѣ трубки, дрожанія перепонки,
которыя легко замѣтить по движенію песчинокъ, будутъ менѣе
и менѣе замѣтны, а около средины совсѣмъ прекратятся: пере-
понка находится въ узлѣ, гдѣ слой воздуха остается въ покоѣ.
Извѣстный парижскій мастеръ акустическихъ приборовъ, Ко-
нигъ, для обнаруженія узловъ, пользуется изобрѣтенною имъ
методой колеблющихся пламешковъ, приложенною имъ къ наб-
люденію многихъ акустическихъ явленій. Въ стѣнкѣ трубки (фиг.
706) гдѣ долженъ быть узелъ дѣлается отверстіе *ab* (фиг. 707)
закрытое очень тонкою перепонкой, отдѣляющею воздухъ на-
ходящійся внутри трубки отъ небольшой наружной камеры съ
двумя каналами; чрезъ одинъ изъ нихъ *p* въ камеру входитъ
свѣтильный газъ, чрезъ другой газъ выходитъ, и будучи зажженъ,
образуетъ пламешко *S*. Когда трубка издаетъ свой основный
тонъ, и около средины ея образуется узелъ, перепонка прихо-
титъ въ дрожаніе, обнаруживающееся колебаніемъ пламени, ко-
дорое при усиленномъ движеніи гаснетъ, тогда какъ пламешки
помѣщенныя выше и ниже остаются спокойными. Если, усиливъ
токъ воздуха, заставить трубку издавать ея первый гармониче-
скій звукъ, то въ срединѣ не бываетъ узла; а оказываются два
узла, одинъ въ верхней, другой въ нижней половинѣ трубки,
какъ показано на фиг. 706. Верхнее и нижнее пламешки га-
снутъ тогда какъ среднее остается спокойнымъ. Наконецъ, такъ
какъ слой соотвѣтствующій узлу остается въ покоѣ, то,—когда
трубка, издаетъ основный звукъ,—можно, задвинувъ перегородку
чрезъ щель *b* (фиг. 708), отдѣлить верхнюю половину трубки отъ
нижней, не измѣняя звука. Но въ такомъ случаѣ, очевидно, бу-
демъ имѣть закрытую трубку длина которой равна половинѣ
длины открытой. Этимъ подтверждается положеніе что откры-
тая трубка должна быть вдвое длиннѣе закрытой чтобы изда-
вать тотъ же звукъ.

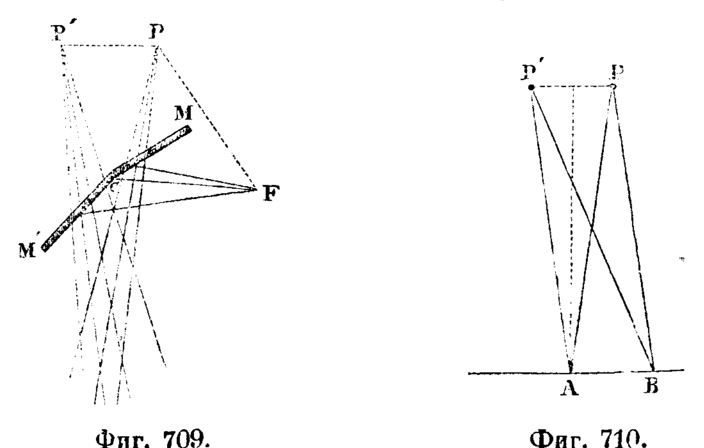
Если бы ящикъ или трубка были наполнены не воздухомъ а
инымъ газомъ, то длина ихъ, соотвѣтствующая тому же усили-
ваемому звуку, должна быть неодинакова, ибо скорость звука, а
слѣд. и длина волны была бы другая чѣмъ въ случаѣ воздуха.
Измѣреніе длины трубки (или точнѣе разстоянія между узлами,
когда она издаетъ какой либо высшій звукъ) можетъ служить
къ опредѣленію скорости звука въ различныхъ газахъ.

Ближайшую аналогію съ колебаніями воздуха въ трубкѣ пред-
ставляютъ *продольныя* колебанія твердаго прута укрѣпленнаго
однимъ концемъ и приводимаго въ движеніе треніемъ вдоль, по-

мощію куска ткани посыпаннаго канифолью или помощію пальцевъ покрытыхъ тѣмъ же порошкомъ. Измѣреніе разстоянія между узлами можетъ и въ этомъ случаѣ служить къ опредѣленію скорости звука въ веществѣ прута.

Мы говорили объ органныхъ трубкахъ гдѣ звукъ образуется струею воздуха разбивающеюся о неподвижное препятствіе. Есть другой родъ органныхъ трубокъ, трубки съ *язычкомъ*, гдѣ отверстіе чрезъ которое проходитъ воздухъ прикрыто упругою пластикою приходящею въ дрожаніе.

§ 486. Интерференція свѣта. При пересѣченіи лучей свѣта также могутъ обнаруживаться явленія интерференціи. Свѣтъ прибавленный къ свѣту можетъ производить темноту. Но для того чтобы два луча могли взаимно уничтожаться, они должны быть одинаковы по отношенію къ длинѣ ихъ волнъ, направленію и силѣ колебаній. Лучи выходящіе изъ двухъ разныхъ свѣтящихся точекъ, хотя бы и одного цвѣта, не довольно одинаковы чтобы могли интерфировать. Потому берется одинъ источникъ, одна свѣтящаяся точка, и лучи ея разбиваются на двѣ системы, которыя заставляютъ пересѣкаться подъ очень острымъ угломъ, дабы онѣ были по возможности близки къ совпаденію. Іонгъ пропускалъ лучи вышедшіе изъ одной точки чрезъ двѣ малыя дирочки или узкія щели и принималъ прошедшій свѣтъ на экранъ. Гдѣ пересѣкались пучки лучей доставляемые тою и другою точкою можно было замѣтить тонкія темныя и свѣтлыя полоски. Френель раздвоялъ лучи помощію двухъ зеркалъ. Свѣтящаяся точка (фиг. 709) даетъ два



Фиг. 709.

Фиг. 710.

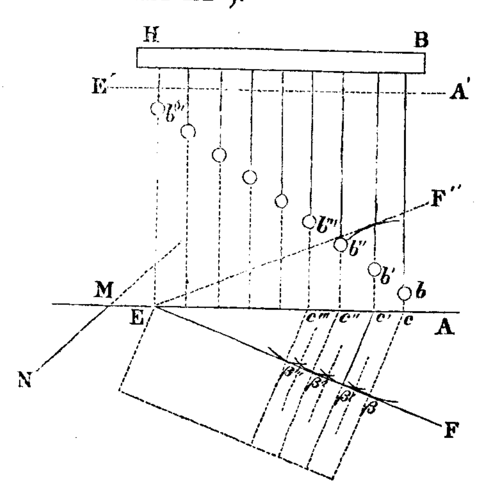
мнимыхъ изображенія, и лучи по отраженіи идутъ такъ какъ если бы выходили изъ двухъ близко лежащихъ точекъ P и P'.

Два луча пересѣкающіеся подъ острымъ угломъ въ точкѣ A (фиг. 710) усиливаются взаимно, такъ какъ пройденные пути PA и $P'A$ равны между собою. Въ точкѣ B, гдѣ разность путей $P'A$ и PA достигаетъ половины волны (или нечетнаго числа полуволнъ) лучи уничтожаются, и обнаруживается темное мѣсто. Такимъ образомъ на ту и другую сторону отъ A об-
наруживается рядъ полосокъ. Если лучи выходящіе изъ F
однородные (одного цвѣта и слѣд. опредѣленной длины волны)
то полоски поперемѣнно бываютъ темныя и свѣтлыя. Ихъ ши-
рина не одинакова для разныхъ цвѣтовъ. Потому если лучи
выходящіе изъ F бѣлые, то темныя и свѣтлыя мѣста разныхъ
цвѣтовъ не совпадаютъ между собою, и полосы представля-
ются радужными.

Начало интерференціи служитъ также къ объясненію радуж-
ныхъ полосъ какія, при освѣщеніи лучами выходящими зъ
одной точки, окаймляютъ тѣнь узкаго предмета, какъ иголка,
волосъ; также полосъ какія образуются лучами прошедшими
чрезъ узкую щель и уклоняющимися въ обѣ стороны отъ ея
геометрическаго проложенія, и т. под. Эти явленія именуются
диффракціей свѣта. (§ 220).

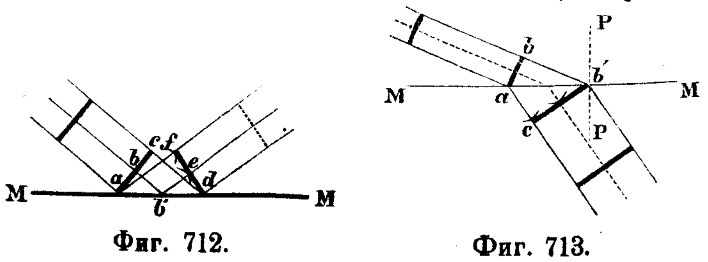
**§ 487. Объясненіе отраженія и преломленія свѣта по те-
оріи волненія.** Основатель теоріи волненія, Гюгенсъ, объяснялъ
отраженіе и преломленіе свѣта помощію начала образованія
сложной волны изъ многихъ простыхъ. Слѣдующій опытъ даетъ
наглядное представленіе о томъ, какъ чрезъ соединеніе прос-
тыхъ волнъ можетъ произойти сложная въ случаѣ движенія рас-
пространяющагося на поверхности воды. Представимъ себѣ
перекладину BH (фиг. 711), къ которой привѣшенъ рядъ ша-
риковъ на нитяхъ разной длины, такъ что центры ихъ лежатъ
на одной прямой линіи наклонной къ горизонту. Станемъ
опускать перекладину параллельно самой себѣ равномѣрнымъ
движеніемъ внизъ до поверхности воды. Первый коснется по-
верхности шарикъ b и произведетъ круговую волну, постепен-
но распространяющуся отъ точки погруженія какъ отъ центра.
Послѣ перваго шарика, чрезъ равные промежутки времени,
будутъ погружаться второй, третій и т. д., производя каждый
свою круговую волну. Когда послѣдній шарикъ b коснется
воды въ точкѣ E, волна произведенная первымъ шарикомъ b
успѣла уже достичь точки β, порожденная вторымъ точки β'
и т. д. Волны эти, каждая подымая воду въ мѣстахъ гдѣ про-
ходитъ, оказываютъ въ точкахъ своего взаимнаго пересѣченія
согласное дѣйствіе. Потому точки эти образуютъ общій валъ
EF на протяженіи котораго поднятіе воды значительно пре-
вышаетъ поднятіе производимое отдѣльными круговыми вол-
нами. Вслѣдствіе равномѣрности опусканія шариковъ и рав-
номѣрности распространенія круговыхъ волнъ по поверхно-
сти воды валъ EF представляетъ *прямую* линію. (Излишне

упоминать что по другую сторону линiи EA образуется другой прямолинейный валъ EF').



Фиг. 711.

Нѣчто подобное описанному явленiю происходитъ, по ученiю Гюгенса, въ случаѣ когда пучокъ лучей свѣта падаетъ на прозрачную поверхность и отчасти отражается отъ нея, отчасти ею преломляется. Допустимъ что лучи выходятъ изъ нѣкоторой отдаленной свѣтящейся точки и слѣд. могутъ быть принимаемы за параллельные между собою. Линiю перпендикулярную къ ихъ направленiю можно разсматривать какъ часть сферической волны распространяющейся отъ этой точки и несущей нѣкоторое опредѣленное состоянiе колебанiя, одинаковое для всѣхъ ея точекъ. Такая *плоская* волна (фиг. 712) перемѣщаясь параллельно себѣ, достигаетъ, въ положенiи abc, поверхности



Фиг. 712.

Фиг. 713.

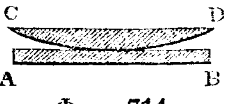
MN, захватывая послѣдовательно ея точки, лежащiя между a
и d. Каждая изъ этихъ точекъ, будучи настигнута волною,
сама становится центромъ колебанiя и посылаетъ отъ себя двѣ
волны: одну полусферически распространяющуюся въ верхней
средѣ (фиг. 712), той гдѣ идетъ падающiй лучъ; другую полусфе-
рически распространяющеюся въ нижней или преломляющей
средѣ (фиг. 713). Въ тотъ моментъ когда волна коснется точки d
(фиг. 712) колебанiе отъ точки a какъ центра успѣло распростра-
ниться вверхъ во всѣ стороны, ка разстоянiе равное длинѣ cd и
сообщиться всѣмъ точкамъ лежащимъ на кругѣ имѣющемъ радi-
усомъ эту величину (такъ какъ распространенiе происходитъ
въ той же средѣ, то отраженное колебанiе имѣетъ ту же ско-
рость какъ падающее). Колебанiе отъ точки b' лежащей въ среди-
нѣ между a и c распространится на разстоянiе равное поло-
винѣ cd и т. д.; точка d только что придетъ въ колебанiе.
Линiя df образованная пересѣченiемъ всѣхъ отдѣльныхъ сфе-
рическихъ волнъ, касательная къ кругамъ описаннымъ изъ то-
чекъ a, b'... соотвѣтствующими радiусами (такъ что $cd = af$,
$b'e = \frac{1}{2} cd$, и т. д.), представитъ сложную волну отраженныхъ
лучей. Такъ какъ $cd = af$, то трiугольники acd и afd равны
между собою. Слѣдовательно углы $fad = cda$; но уголъ cda
есть уголъ падающаго луча съ поверхностiю MN, fad соот-
вѣтствующiй уголъ отраженнаго. Другими словами лучъ пада-
ющiй и лучъ отраженный дѣлаютъ, согласно съ опытомъ, рав-
ные углы съ поверхностiю отраженiя.

Колебанiя отъ точекъ a, b'.... распространяются и въ нижней
средѣ (фиг. 713) но съ иною скоростiю чѣмъ въ верхней. Потому
когда падающая волна отъ b дойдетъ до b', колебанiе отъ точки
a распространится внизъ на нѣкоторое разстоянiе, большее или
меньшее чѣмъ bb', смотря потому скорость распространенiя свѣ-
та въ нижней средѣ болѣе или менѣе чѣмъ въ верхней. Допу-
стимъ что она менѣе. Сферическая волна отъ a распространяет-
ся до круга имѣющаго радiусъ менѣе bb'. Пусть длина этого ра-
дiуса равняется ac. Описавъ изъ точки a кругъ радiусомъ рав-
нымъ ac и проведя изъ b' касательную линiю къ этому кругу,
получимъ преломленную волну cb'. Назовемъ скорость рас-
пространенiя свѣта въ первой средѣ буквою V, во вто-
рой буквою V'. Тогда $bb' = V\tau$, гдѣ τ малое время, впродол-
женiе котораго свѣтовое колебанiе въ первой средѣ про-
ходитъ пространство равное bb'. Подобнымъ образомъ во
второй средѣ проходимое въ то же время пространство $ac =$
$V'.\tau$. Но $bb' = ab'. \cos ab'b = ab'. \sin i$ гдѣ $i = b'bP$ уголъ паденiя.
Также $ac = ab'. \sin ab'c = ab'. \sin \rho$, гдѣ $\rho = ab'c =$ углу преломле-
нiя. Отсюда законъ преломленiя $\frac{b'b}{ac} = \frac{V}{V'} = \frac{Sin\, i}{Sin\, \rho} = n$,
гдѣ n постоянная величина. Видимъ что показатель преломле-
нiя n есть отношенiе скорости свѣта въ первой средѣ къ ско-
рости свѣта во второй. Чтобы преломленный лучъ, какъ въ

нашемъ примѣрѣ, приблизился къ перпендикуляру паденія и уголъ ρ былъ менѣе угла i, надо чтобы $V > V'$, то-есть скорость въ менѣе преломляющей средѣ, напримѣръ въ воздухѣ, должна быть болѣе чѣмъ въ средѣ сильнѣе преломляющей, напримѣръ въ водѣ или стеклѣ. Заключеніе это оправдано прямыми опытами Фуко и Физо, доказавшими что свѣтъ въ водѣ движется медленнѣе чѣмъ въ воздухѣ. По теоріи истеченія слѣдуетъ что свѣтъ въ воздухѣ долженъ двигаться медленнѣе въ чѣмъ средахъ болѣе преломляющихъ. Эта теорія слѣдовательно противурѣчитъ опыту.

488. Цвѣта тонкихъ пластинокъ. Кольца Ньютона. Бѣлые лучи, отражаясь отъ очень тонкаго слоя какого-нибудь прозрачнаго тѣла или проходя чрезъ такой тонкій слой, становятся окрашенными, и тонкій слой представляется цвѣтнымъ глазу получающему такіе отраженные или прошедшіе лучи. Наблюдать цвѣта этого происхожденія удобно можно на тонкой оболочкѣ мыльнаго пузыря. Цвѣта мѣняются, смотря по толщинѣ слоя и наклоненію лучей. Цвѣта на поверхности нѣкоторыхъ металловъ покрытыхъ тончайшимъ прозрачнымъ слоемъ окиси)—висмута, стали закаленной при разныхъ температурахъ и т. д. суть также явленія этого рода. Бѣлый пучокъ получаетъ окраску чрезъ исчезаніе нѣкоторой его составной части. Исчезаніе это есть результатъ интерференціи, причемъ свѣтъ исчезающій въ отраженной части, обнаруживается въ проходящей и наоборотъ. Въ случаѣ отраженія, двѣ интерферирующіяся между собою системы лучей суть: лучи отраженные отъ первой встрѣчаемой падающимъ пучкомъ поверхности, которую назовемъ A и лучи прошедшіе внутрь слоя и отраженные отъ его второй поверхности B; послѣдніе прежде чѣмъ достигнутъ глаза наблюдателя свершаютъ болѣе длинный путь чѣмъ первые, ибо проходятъ дважды толщину слоя. Въ случаѣ прохожденія, лучи вошедшіе въ слой, достигающіе поверхности B, ею отражаются назадъ до поверхности A и будучи этою вторично отражены въ общій потокъ идущаго свѣта, интерферируются съ нѣкоторою частію этого общаго потока лучей (такъ какъ интерференція простирается на небольшую лишь часть проходящаго свѣта, то окраска бываетъ сравнительно слаба). Излишекъ пути опредѣляющій интерференцію зависитъ оттого что одна система лучей прошла лишь разъ чрезъ толщу слоя, тогда какъ другая свершила въ толщѣ тройной путь.

Чтобы имѣть слой правильно измѣняющейся толщины, подлежащей измѣренію, Ньютонъ воспользовался слоемъ воздуха между двумя прикасающимися стеклами, изъ конхъ одно плоское, другое плоско-выпуклое (фиг. 714). Нажавъ нѣсколько второе стекло на первое такъ чтобы установилось дѣйствительное прикосновеніе, замѣтимъ, смотря сверху,



Фиг. 714.

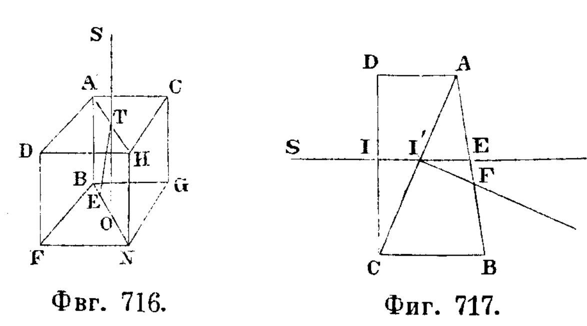
что въ мѣстѣ прикосновенія будетъ черное пятно. Вокругъ этого пятна рядъ радужныхъ круговъ (фиг. 715). Если падающіе лучи однороднаго цвѣта, то круги эти поперемѣнно темные и свѣтлые (радужность происходитъ оттого что круги разныхъ цвѣтовъ имѣютъ разную ширину). Если смотрѣть сквозь такую систему стеколъ, то также замѣтимъ круги, только значительно болѣе блѣдные, дополнительнаго цвѣта къ предыдущими и съ свѣтлымъ центромъ.

Фиг. 715.

§ 489. Явленія объясняемыя поперечностію свѣтовыхъ колебаній. Двойное преломленіе въ исландскомъ шпатѣ. Двойное преломленіе наиболѣе рѣзко обнаруживается въ исландскомъ шпатѣ. Это тѣло встрѣчается въ природѣ плитками, которымъ легко можно, откалываніемъ пластинокъ параллельно естественнымъ сторонамъ куска, дать форму *ромбоедра* (ограниченную со всѣхъ сторонъ ромбами). Линія проведенная отъ одного тупаго тѣлеснаго угла такого куска къ другому показываетъ направленіе его *оптической оси.* Всякая линія параллельная сказанной, проведенная чрезъ какую-либо точку кристалла есть оптическая ось, соотвѣтствующая этой точкѣ. Лучъ идущій по направленію оси не раздвояется. Плоскость проходящая по направленію оси и перпендикулярная къ естественной или искусственной сторонѣ кристалла шпата называется *главнымъ сѣченіемъ.*

Если на кусокъ исландскаго шпата падаетъ лучъ свѣта, то, входя въ кристаллъ, онъ раздвояется и слѣдуетъ по двумъ путямъ. Раздвоеніе бываетъ не только при косвенномъ паденіи, но и при перпендикулярномъ (исключая случаевъ пластинки вырѣзанной параллельно или перпендикулярно оси). При этомъ одна часть повинуется обыкновеннымъ законамъ преломленія — *обыкновенный лучъ*, другая слѣдуетъ инымъ законамъ — *лучъ необыкновенный*. Такимъ образомъ при перпендикулярномъ паденіи обыкновенный лучъ проходитъ не преломляясь, необыкновенный отклоняется не смотря на перпендикулярность паденіе. Явленіе можно обнаружить или въ проложеніи на экранѣ,—пропустивъ чрезъ собирательное стекло тонкій пучокъ лучей такъ чтобы отверстіе пропускающее свѣтъ отчетливо изобразилось на экранѣ и поставивъ на пути пучка кусокъ шпата; или прямо глазомъ, — смотря чрезъ кристаллъ. Въ послѣднемъ случаѣ всего лучше начертить на бумагѣ двѣ пересѣкающіяся прямыя линіи и положить кристалъ на центръ такого креста. Увидимъ въ части прикрытой кристаломъ двойное изображеніе. При перпендикулярности луча зрѣнія, части линіи внѣ кристала составляютъ продолженіе *обыкновеннаго* изображенія креста; *необыкновенное* изображеніе отклонено въ сторону. При повертываніи кристалла отклоненное необыкновенное изображеніе будетъ обращаться вокругъ центра обыкновеннаго. Отклоненіе луча,

какъ не трудно убѣдиться, происходитъ (фиг. 716) въ плоскости главнаго сѣченія.



Фвг. 716. Фиг. 717.

Для произведенія значительнаго раздвоенія луча требуется большой кусокъ шпата. Но можно достигнуть цѣли помощію куска небольшихъ размѣровъ, если дать ему форму призмы. Такую призму (CAB на фиг. 717) совокупляютъ обыкновенно съ стеклянною призмою DCA, обращенною преломляющимъ ребромъ въ противоположную сторону съ призмою шпата, дабы раздвоеніе луча не сопровождалось значительнымъ призматическимъ окрашиваніемъ и одинъ изъ раздвоенныхъ лучей прошелъ почти безъ преломленія.

§ 490. Поляризація свѣта чрезъ двойное преломленіе. Раздвоеніе луча не есть единственный замѣчательный фактъ, представляемый явленіемъ двойнаго преломленія. Каждый изъ пучковъ, на какіе раздѣляется падающій пучекъ, обнаруживаетъ особенность свидѣтельствующую что вышедшій изъ исландскаго шпата лучъ имѣетъ различныя свойства въ различныхъ плоскостяхъ, которыя можемъ чрезъ него вообразить. Заставимъ одинъ изъ лучей выходящихъ изъ куска шпата пройти чрезъ второй кусокъ шпата. Онъ раздвоится во второмъ кускѣ на два луча одинакой яркости только въ томъ случаѣ, когда главное сѣченіе втораго куска дѣлаетъ уголъ 45° съ главнымъ сѣченіемъ перваго. Во всѣхъ другихъ положеніяхъ два пучка или два изображенія, производимыя вторымъ кускомъ, имѣютъ не одинакую яркость и даже одно изъ нихъ совсѣмъ пропадаетъ, если главное сѣченіе втораго кристалла параллельно или перпендикулярно главному сѣченію перваго. Пусть изслѣдуемый лучъ есть обыкновенный. Тогда, при разложеніи вторымъ кускомъ, если главныя сѣченія параллельны, во второмъ кускѣ не бываетъ необыкновеннаго пучка, тогда какъ обыкновенное изображеніе достигаетъ maximum яркости. Если главныя сѣченія перпендикулярны, напротивъ обыкновенное изображеніе

имѣетъ яркость равную нулю, тогда какъ необыкновенное достигаетъ своего maximum. Если изслѣдуемый лучъ необыкновенный, то явленія бываютъ обратныя: при параллельности главныхъ сѣченій исчезновеніе, въ новомъ раздѣленіи, обыкновеннаго пучка, при перпендикулярности—необыкновеннаго.

Такое измѣненіе луча при прохожденіи чрезъ исландскій шпатъ, измѣненіе, вслѣдствіе котораго лучъ прошедшій чрезъ шпатъ вторымъ кускомъ шпата разлагается на два пучка неодинаковой силы свѣта, — тогда какъ прямо идущій отъ источника, *естественный* лучъ раздвояется во всѣхъ случаяхъ на два пучка равной силы свѣта, — Французскій ученый Малюсъ наименовалъ *поляризацiей* свѣта. Поляризованный лучъ имѣетъ стороны. Его отличіе отъ естественнаго можно уподобить различію какое есть между круглою цилиндрическою палочкой и лезвіемъ ножа. Теоретически явленіе поляризаціи объясняется поперечностію колебаній эѳира, помощію которыхъ распространяется свѣтъ. Лучъ поляризованъ (прямолинейно) если частицы эѳира лежащія на протяженіи луча всѣ совершаютъ свои колебанія въ одной общей плоскости. Если частица, оставаясь въ плоскости перпендикулярной направленію луча, совершаетъ свои колебанія безпрерывно мѣняя направленіе и въ короткое время обѣгаетъ плоскостію качаній всѣ 360°, то имѣемъ лучъ естественный. (Если каждая частица въ движеніи своемъ описываетъ нѣкоторый постоянный эллипсисъ или кругъ, то имѣемъ лучъ съ *элиптическою* или *круговою поляризацiей*).

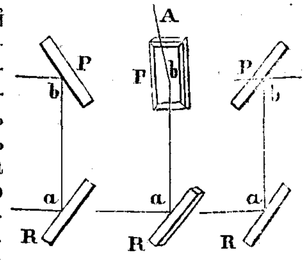
§ 491. Поляризація чрезъ отраженіе, преломленіе и турмалинъ. Малюсъ въ 1808 году сдѣлалъ замѣчательнѣйшее открытіе, показавъ что лучъ можетъ сдѣлаться поляризованнымъ,—то есть пріобрѣсть тѣ свойства, какія сообщаетъ ему прохожденіе чрезъ кусокъ исландскаго шпата,—помощію простаго отраженія отъ поверхности стекла (и вообще прозрачныхъ тѣлъ). Если на пластинку стекла прозрачную или зачерненную съ задней стороны, но не амальгамированную, бросить лучъ свѣта такъ, чтобы онъ дѣлалъ съ поверхностію уголъ около 35°, и отраженный лучъ принять на кусокъ или призму исландскаго шпата, то не трудно убѣдиться что два пучка, на которые разобьется лучъ будутъ не одинаковой яркости. Лучъ слѣдовательно *поляризованъ*. Онъ имѣетъ свойства совершенно подобныя тѣмъ какія имѣлъ бы обыкновенный лучъ выходящій изъ куска шпата поставленнаго такъ что его главное сѣченіе совпадаетъ съ плоскостію паденія луча на поляризующее зеркало. Если падающій лучъ дѣлаетъ иной уголъ со стеклянною отражающею поверхностію, то поляризація отраженнаго луча бываетъ не полная. Отраженный пучекъ можно разсматривать какъ смѣшеніе поляризованныхъ лучей съ естественными.

Лучъ пріобрѣтаетъ полную поляризацію при отраженіи отъ воды, если отраженіе происходитъ подъ угломъ около 37° съ по-

верхностію. Вообще лучъ отражается отъ прозрачнаго тѣла вполнѣ поляризованнымъ если уголъ паденія таковъ что преломленная, внутрь тѣла проникающая часть луча имѣетъ направленіе перпендикулярное отраженной его части (законъ Брюстера). Нѣкоторыя непрозрачныя тѣла какъ мраморъ, черные лаки и проч. также могутъ вполнѣ поляризовать свѣтъ. Металлическія поверхности, а между прозрачными тѣлами алмазъ не сообщаютъ лучу полной поляризаціи (потому амальгамированныя зеркала не годятся для опытовъ съ поляризаціею).

Чрезъ преломленіе также можно сообщить лучу поляризацію, и если наклонно пропустить пучокъ лучей чрезъ рядъ стеклянныхъ пластинокъ, помѣщенныхъ параллельно одна съ другими (столбъ пластинокъ), то значительная доля прошедшаго свѣта оказывается поляризованною. Прохожденіе чрезъ пластинку турмалина также дѣлаетъ лучъ поляризованнымъ.

§ 492. Отраженіе поляризованнаго свѣта Поляризаторы и анализаторы. Малюсъ открылъ также что отраженіе поляризованнаго луча происходитъ, по отношенію къ количеству отражаемаго свѣта, иначе чѣмъ отраженіе естественнаго. Имѣемъ, напримѣръ, лучъ поляризованный чрезъ отраженіе отъ стеклянной пластинки (фиг. 719). Примемъ этотъ лучъ на другое зеркало подъ тѣмъ же угломъ $35^1/_2{}^0$ съ поверхностію. Напряженіе свѣта вторично отраженнаго луча будетъ зависѣть отъ положенія втораго зеркала которое, очевидно, при томъ же углѣ $35^1/_2{}^0$ можно поставить такъ что отраженный лучъ будетъ направленъ къ той или другой сторонѣ горизонта. Станемъ характеризовать положеніе зеркала направленіемъ плоскости паденія отражаемаго имъ луча. Если плоскость паденія на второе зеркало будетъ совпадать съ плоскостію паденія на первое, то количество отраженнаго свѣта будетъ наибольшее. Если станемъ поворачивать зеркало (сохраняя уголъ $35^1/_2{}^0$) такъ что плоскости паденія будутъ дѣлать между собою

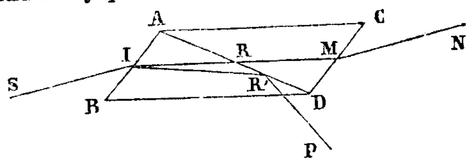


Фиг. 718.

уголъ, то количество отраженнаго свѣта станетъ уменьшаться, и когда плоскости паденія будутъ перпендикулярны между собою, напряженіе свѣта отражаемаго отъ втораго зеркала будетъ равно нулю. Лучъ вовсе не дастъ отраженной части и весь проникнетъ въ стекло. Между тѣмъ если бы лучъ былъ естественный, онъ во всѣ стороны отражался бы одинаково, въ количествѣ соотвѣтствующемъ углу отраженія (съ поверхностію) $35^1/_2{}^0$. Вмѣсто луча поляризованнаго чрезъ отраженіе можно взять лучъ поляризованный какимъ-либо инымъ способомъ: чрезъ двойное

преломленіе, простое преломленіе, турмалинъ. Явленія будутъ
подобны, если, въ случаѣ обыкновеннаго луча, дадимъ плоскости
главнаго сѣченія то значеніе какое давали въ описанномъ опы-
тѣ плоскости паденія на поляризующее зеркало; и если въ слу-
чаѣ необыкновеннаго луча то же значеніе дадимъ плоскости
перпендикуляной къ плоскости главнаго сѣченія.

Вообще снаряды доставляющіе поляризованный свѣтъ назы-
ваются *поляризаторами*, снаряды обнаруживающіе поляриза-
ціонныя свойства луча — *анализаторами*. Призма съ двойнымъ
преломленіемъ есть одинъ изъ употребительнѣйшихъ поляри-
заторовъ и анализаторовъ. Она доставляетъ два поляризован-
ныхъ пучка, но одинъ можно загородить надлежаще поста-
вленной діафрагмой; будемъ имѣть одинъ поляризованный пу-
чокъ. Взявъ продолговатую призму шпата, раздѣливъ ее по-
поламъ плоскостію проведенною отъ одного тупаго угла до
другаго и склеивъ отдѣленныя части помощію канадскаго
бальзама, получимъ такъ-называемую призму Николя длина ку-
ска шпата такова что сѣченіе AD дѣлаетъ со сторонами AB
и CD уголъ немного разнящійся отъ прямаго). Изъ двухъ час-
тей раздвояемаго ею луча обыкновенная (фиг. 719) отклоня-
ется полнымъ внутреннимъ отраженіемъ.



Фиг, 719.

§ 493. Хроматическая поляризація. Возьмемъ поляризаціон-
ный аппаратъ состоящій, напримѣръ, изъ николевой призмы
въ качествѣ поляризатора и призмы съ двойнымъ преломлені-
емъ въ качествѣ анализатора. Поставимъ главное сѣченіе ана-
лизатора такъ чтобы одно изъ доставляемыхъ имъ изображе-
ній затмилось. Помѣстимъ затѣмъ между поляризаторомъ и
анализаторомъ перпендикулярно идущему лучу, тонкую пла-
стинку какого-нибуть прозрачнаго тѣла кристаллическаго стро-
енія. Изчезнувшее изображеніе появится, и оба изображенія,
говоря вообще, представятся окрашенными. Можно различить
три главные случая такой *хроматической поляризаціи*.

1) Если пластинка вырѣзана изъ тѣла съ двойнымъ прело-
мленіемъ такъ что оптическая ось находится въ ея плос-
кости (параллельно оси), то два изображенія оказываются до-
полнительныхъ цвѣтовъ, зависящихъ отъ толщины пластинки
и ея положенія. При повертываніи пластинки въ ея плоскости,
яркость цвѣтовъ измѣняется, изображенія обмѣниваются цвѣ-
тами переходя чрезъ состояніе безцвѣтности. 2) Если плас-
тинка вырѣзана перпендикулярно оси, то въ случаѣ если вхо-
дящій въ пластинку пучекъ состоитъ изъ параллельныхъ лу-

чей, она не оказываетъ дѣйствія (какъ если бы не была кристаллическою). Но если пучекъ сдѣлать, помощію стекла поставленнаго за поляризаторомъ, сходящимся, то въ изображеніяхъ появится по системѣ колецъ дополнительныхъ одна отъ другой. 3) Если пластинка вырѣзана изъ кварца (горный хрусталь) то и въ случаѣ параллельнаго пучка изображенія представляются окрашенными. При поворачиваніи пластинки цвѣта не мѣняются, но если поворачивать поляризаторъ или анализаторъ, цвѣта (постоянно дополнительные въ двухъ изображеніяхъ) мѣняются, переходя чрезъ разнообразные оттѣнки призматической гаммы. Послѣднее явленіе именуется *вращательной поляризаціей*. Оно обнаруживается не въ кварцѣ только: многія жидкія тѣла, напримѣръ растворъ сахара, имѣютъ по отношенію къ поляризованому лучу свойства подобныя пластинкѣ кварца вырѣзанной перпендикулярно къ оси. Въ случаѣ однороднаго цвѣта дѣйствіе пластинки кварца состоитъ въ томъ что она поворачиваетъ на нѣкоторый уголъ плоскость поляризаціи проходящаго чрезъ нее луча.

§ 494. Вращательная поляризація отъ дѣйствія магнита. Фарадей показалъ что свойство вращать плоскость поляризаціи можно сообщить прозрачнымъ тѣламъ дѣйствіемъ магнита. Это поразительное открытіе онъ сообщилъ Лондонскому Королевскому Обществу въ 1845 году въ запискѣ озаглавленной: *О намагниченіи свѣта и освѣщеніи линій магнитной силы.* Пропустимъ *поляризованный лучъ* чрезъ анализаторъ, каковымъ возьмемъ призму Николя. Поворачивая призму найдемъ положеніе, тогда поле зрѣнія будетъ совершенно темно. Если на пути между поляризаторомъ и анализаторомъ поставимъ кусокъ прозрачнаго тѣла, напримѣръ стекла (Фарадей сдѣлалъ свое открытіе, употребляя тяжелое стекло, содержащее много свинца—такъ-называемый флинтъ Фарадея), то явленіе ни въ чемъ не измѣнится, и поле зрѣнія будетъ по прежнему темно. До сихъ поръ обыкновенныя явленія поляризаціи. Но поставимъ въ сосѣдствѣ куска тяжелаго стекла сильный электромагнитъ, который,—чтобы разсуждать нагляднѣе,—представимъ себѣ подковообразнымъ, и поставимъ такъ, чтобы линія соединяющая его полюсы шла параллельно направленію луча (тогда, согласно обозначенію Фарадея, линіи магнитной силы будутъ идти въ стеклѣ въ томъ же направленіи какъ и лучъ свѣта). Какъ только замкнемъ токъ электромагнита, и онъ получитъ магнитную силу—*поле зрѣнія освѣтится*, лучъ, прежде не проходившій чрезъ анализаторъ, получитъ способность проходить чрезъ него. Кусокъ тяжелаго стекла отъ дѣйствія магнита пріобрѣтетъ свойство, какое отъ природы имѣютъ нѣкоторыя тѣла, какъ кварцъ, растворъ сахара и т. д. Дѣйствіе магнита сообщаетъ это удивительное свойство не только тяжелому стеклу, но въ большей или меньшей степени и другимъ прозрачнымъ тѣламъ.

REPETITORIUM.

Механическая часть.

I. Ученіе о тяжести.

1) Направленіе по какому тяжесть дѣйствуетъ на тѣла называется *отвѣснымъ* или *вертикальнымъ*. Оно перпендикулярно къ поверхности воды, а слѣдов. направлено къ центру земли, такъ какъ поверхность воды на землѣ можетъ считаться сферическою.

2) Точка чрезъ которую проходитъ равнодѣйствующая силы тяжести при всѣхъ положеніяхъ тѣла называется его центромъ тяжести. Тѣло остается въ равновѣсіи, когда вертикальная линія проведенная чрезъ центръ тяжести проходитъ чрезъ точку тѣла которая подперта или между точками которыя подперты. Равновѣсіе *устойчиво*, если центръ тяжести повышается при выведеніи тѣла изъ положенія равновѣсія; *неустойчиво*, если понижается.

3) Правило рычага: *грузы или вообще силы обратно пропорціональны плечамъ*. Помощію рычага можно малою силою уравновѣсить большую или побѣдить большое препятствіе, но что выигрывается въ силѣ теряется въ пройденномъ пути. Работать вообще значитъ побѣждать препятствіе. Два элемента работы: величина препятствія и путь или протяженіе на какомъ препятствіе побѣждается. Единица работы—килограмметръ, пудофутъ.

4) Вѣсы должны быть *вѣрны* и *чувствительны*. Вѣрность зависитъ отъ равенства плечъ. Чувствительность отъ длины и вѣса коромысла и близости его центра тяжести къ точкѣ опоры. Точка опоры и точка привѣса должны быть на одной прямой линіи, чтобы чувствительность не зависѣла отъ взвѣшиваемыхъ грузовъ.

5) ***Плотность или удѣльный вѣсъ*** тѣла есть отношеніе

16) Явленіе представляемыя Маріоттовымъ сосудомъ объясняются высотою жидкости въ открытой, проходящей въ сосудъ трубкѣ, и теорія приводится къ случаю открытаго сосуда.

17) Барометръ измѣряетъ давленіе атмосферы; бываетъ сифонный и съ чашечкою. Наблюденія одинаково можно производить на дворѣ или въ комнатѣ. Првведеніе къ 0^0.

18) Въ воздушномъ насосѣ клапанъ въ поршнѣ приподымается вытѣсняемымъ воздухомъ, клапанъ при соединеніи съ разрѣжаемымъ пространствомъ замѣняется пробкою приподымаемою движеніемъ поршня. Въ насосѣ съ двумя цилиндрами поршни суть какъ бы чашки вѣсовъ обремененныя одинакими грузами. Манометръ при насосѣ есть укороченный барометръ.

19) Маріоттовъ законъ: *объемъ данной массы газа обратно пропорціоналенъ давленію* (при неизмѣняемой температурѣ). При давленіяхъ больше атмосфернаго можетъ быть оправданъ помощію манометра съ длиннымъ открытымъ каналомъ; при меньшихъ атмосфернаго—погруженіемъ закрытой трубки въ глубокій сосудъ со ртутью. Выражается формулою $V : V' = P' : P$ или $VP = V'P' = V''P'' = V'''P'''$.... то есть произведеніе объема на давленіе остается постояннымъ.

20) Законъ Архимеда прилагается и къ газамъ. На этомъ основываются аэростаты.

21) Параллелограмъ силъ. *Въ случаѣ силъ дѣйствующихъ подъ угломъ, ихъ равнодѣйствующая изображается по величинѣ и направленію діагональю параллелограмма построеннаго на линіяхъ изображающихъ эти силы.*

22) Формулы: *равномѣрнаго движенія* $e = vt$; *равномѣрно-ускореннаго* $v = gt$, $e = \frac{gt^2}{2}$, $v = \sqrt{2gh}$ (формулы паденія тѣлъ). *Скорость возрастаетъ пропорціонально времени; пространство пропорціонально квадрату времени.* Пространства проходимыя послѣдовательно въ первую, вторую, третью и т. д.... единицы времени относятся между собою какъ рядъ нечетныхъ чиселъ 1, 3, 5, 7, 9...

Если есть начальная скорость v_0, то $v = v_0 + gt$; $e = vt_0 + \frac{gt^2}{2}$.

Формулы движенія равномѣрно-замедленнаго: $v = v_0 - gt$, $e = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ (тѣло брошенное вертикально кверху).

23) Силы измѣряются 1) *статически*, по производимому натяженію или давленію; 2) *динамически*, по сообщаемому данной массѣ *ускоренію*. Формула $P = mg$, гдѣ m масса, g ускореніе. Въ

случаѣ падающаго тѣла $g = 9,8$ метровъ. Если за единицу силы, измѣряемой статически, примемъ натяженіе производимое единицею вѣса, то чтобы въ предыдущей формулѣ вторая часть, будучи приведена въ числа, выражала то же что первая,—за единицу массы надлежитъ принять количество вещества заключающагося не въ единицѣ вѣса, а въ 9,8 единицахъ вѣса и масса килограмма должна считаться равною $\frac{1}{9,8}$. Чтобы избѣжать такого искусственнаго представленія, принимаютъ (*абсолютное измѣреніе силъ*) за единицу массы количество вещества заключающагося въ единицѣ вѣса, за единицу же силы такую силу которая, дѣйствуя впродолженіе секунды, произвела бы ускореніе равное 1 метру. Слѣд. единица силы въ 9,8 разъ менѣе единицы вѣса, и вѣсъ килограмма равняется 9,8 единицамъ силы.

24) Вопросъ о дѣйствіи силы на тѣло движущееся не по ея направленію разрѣшается по второму закону движенія. Въ случаѣ круговаго движенія отъ силы направленной къ центру, величину этой *центро-стремительной* силы можно выразить формулою $F = m\frac{v^2}{r}$, гдѣ v скорость движенія, r радіусъ описываемаго круга. Если движеніе происходитъ вслѣдствіе препятствія, то эта величина выражаетъ давленіе на препятствіе или *центробѣжную* силу.

25) Работа силы дѣйствующей на тѣло равняется половинѣ произведеннаго ею приращенія живой силы. $Ph = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$. Живая сила тѣла есть мѣра его *кинетической* энергіи; возможная работа дѣйствующей на него силы—мѣра его *потенціальной* энергіи.

26) Законы паденія тѣлъ выражаются формулами равномѣрно-ускореннаго движенія. Маятникъ главный инструментъ для изученія тяжести на землѣ. Формула маятника: $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, гдѣ l длина маятника, t время одного размаха.

27) Формула скорости истеченія жидкости изъ отверстія $v = \sqrt{2gh}$, гдѣ h вертикальное разстояніе отверстія отъ уровня. При истеченіи изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ обнаруживается сжатіе струи. Струя изъ капель.

Звукъ.

1) Звукъ есть ощущеніе доставляемое органомъ слуха. Звучащее тѣло находится въ состояніи дрожанія (струна, колоколъ, діапазонъ, пластинка съ Хладніевыми фигурами). Звукъ въ воздухѣ и вообще тѣлахъ распространяется *волнообразно*. Движенію впередъ соотвѣтствуетъ *сжатая*,

движенію назадъ *разрѣженная* волна. Длина волны не зависитъ отъ величины размаха, а зависитъ отъ его времени. Въ безвоздушномъ пространствѣ звукъ не распространяется. Скорость звука въ воздухѣ (опредѣленная наблюденіемъ свѣта и звука отдаленнаго выстрѣла) есть 340 метровъ или 1100 футовъ въ секунду (при 16°; мѣняется отъ температуры, не мѣняется отъ давленія). Въ водѣ въ четверо, въ чугунѣ болѣе чѣмъ въ десятеро значительнѣе чѣмъ въ воздухѣ. Въ трубахъ звукъ распространяется безъ значительной потери; отъ препятствія отражается, производя эхо.

2) Впечатлѣніе музыкальнаго звука возбуждается *періодическимъ*, шума *неперіодичвскимъ* сотрясеніемъ сообщаемымъ органу слуха.

Въ музыкальномъ звукѣ ухо различаетъ: *напряженіе*, *высоту и звучаніе или тимбръ.* Напряженіе зависитъ отъ величины размаховъ и не имѣетъ вліянія на число качаній. Высота зависитъ отъ числа колебаній и слѣдов. числа импульсовъ, получаемыхъ ухомъ въ данное время (чѣмъ выше звухъ тѣмъ болѣе колебаній; нормальный діапазонъ la_3 435 полныхъ, то-есть взадъ и впередъ, или 870 простыхъ колебаній въ секунду); звучаніе или тимбръ (та же нота на разныхъ инструментахъ звучитъ неодинаково) зависитъ физически—оттого какъ происходитъ отдѣльный размахъ и какой потому имѣетъ видъ отдѣльная волна (оттого, при одинаковомъ числѣ, импульсы одного звука не таковы какъ пимульсы другаго) физіологически—отъ числа и напряженія гармоническихъ тоновъ сопровождающихъ основный тонъ. Число колебаній опредѣляется a) графическимъ способомъ (черченіе зигзаговъ остріемъ придѣланнымъ къ звучащему тѣлу); b) помощію сирены (звукъ образуется прерывистымъ истеченіемъ воздуха дающимъ толчки окружающему воздуху); c) помощію колеса Савара (зубчатое колесо даетъ толчки картѣ). Два звука въ *унисонъ* соотвѣтствуютъ одинакому числу колебаній и слѣд. одинакому числу импульсовъ получаемыхъ ухомъ. Звукъ составляющій октаву другаго производитъ въ то же время двойное число импульсовъ; въ случаѣ квинты (*sol*) отношеніе числа импульсовъ или числа колебаній есть $^2/_3$. Звуки, числа колебаній которыхъ вдвое, втрое, вчетверо и т. д. болѣе чѣмъ число колебаній даннаго звука, называются по отношенію къ нему *гармоническими.* Изслѣдуются *резонаторами.*

3) Чтобы опредѣлить длину звуковой волны, надо скорость звука раздѣлить на число колебаній. *Полная* волна соотвѣтствуетъ движенію взадъ и впередъ и слѣд. состоитъ

изъ *сжатой* и *разрѣженной* частей; въ отдѣльности сжатая и разрѣженная части называются простыми волнами, соотвѣтственно простому колебанію взадъ или впередъ; въ случаѣ сирены образованіе полной волны слагается изъ періода выбрасыванія воздуха и періода остановки. Длина волнъ соотвѣтствующихъ тому же числу колебаній раалична въ разныхъ средахъ. Ящикъ закрытый съ одной стороны усиливаетъ звукъ если его длина около $^1/_4$ длины полной волны этого звука; открытый съ обѣихъ сторонъ, если $^1/_2$ полной волны.

4) Инструменты бываютъ струнные и духовые. Монохордъ. Число колебаній струны обратно пропорціонально ея длинѣ. Колебанія цѣлой длиной и частями (помощію передачи чрезъ слабое препятствіе; на нити привязанной къ вѣтви діапазона; узлы, валы). Органныя трубки: звукъ порождается струею разбивающеюся объ остріе и усиливается трубкою, какъ ящикомъ или резонаторомъ. Оптическое изученіе колебаній діапазоновъ (опыты Лиссажу: діапазоны снабжаются зеркальцами и лучъ отраженный отъ одного діапазона падаетъ на зеркальце другаго, поставленнаго перпендикулярно, и затѣмъ па экранъ; фигура въ родѣ восьми соотвѣтствуетъ октавѣ. Когда діапазоны въ унисонѣ — кругъ, элипсисъ или прямая. Когда діапазоны разстроены фигура какъ бы вращается около оси).

5) Звукъ какъ ощущеніе. Въ ухѣ различаемъ: наружное ухо, барабанную полость, внутреннее ухо, гдѣ развѣтвленія нерва соединены съ тонкими разнообразными волокнами. Звучащее тѣло приводитъ въ созвучное дрожаніе тѣ волокна которыя способны колебаться съ нимъ въ унисонъ. Колебанія волоконъ простыя; потому ухо ощущаетъ простые тоны, а сложные разлагаетъ на ихъ составные простые, дѣйствующія на соотвѣтствующія системы волоконъ (отсюда гармоническіе тоны сопровождающіе основный звукъ въ случаѣ если ощущеніе произведено сложнымъ импульсомъ). Два тона числа качаній которыхъ разнятся на *n* колебаній въ секунду даютъ *n біеній* впродолженіе этого времени. Біенія причина прерывистаго ощущенія порождающаго диссонансъ. Если число біеній около 30—сильный диссонансъ, выше 130 вліяніе біеній не замѣтно.

Тепло и свѣтъ.

I. Дѣйствіе теплоты безъ измѣненія состоянія тѣлъ.

1) Поястонныя точки на термометрѣ: точка таянія льда и точка кипѣнія воды (при опредѣленіи послѣдней должно быть обращено вниманіе на давленіе; опредѣленіе дѣлается въ парѣ кипящей воды). Три термометрическія скалы: при таяніи льда у Цельзія и Реомюра 0^0, у Фаренгейта 32^0; при точкѣ кипѣнія подъ давленіемъ 760 миллим. у Цельзія 100^0, у Реомюра 80^0, у Фаренгейта 212^0. Нуль Фаренгейта при —17,8 Цельзія или —14,2 Реомюра. Формулы для перевода съ одной скалы на другую $R = {}^4/_5 C$; $C = {}^5/_4 R$; $C = {}^5/_9 (F - 32)$; $F = {}^9/_5 C + 32$.

2) Дѣйствіе теплоты на тѣла двоякаго рода: а) безъ измѣненія состоянія тѣлъ—нагрѣваніе или повышеніе температуры, сопровождающееся обыкновенно расширеніемъ; б) съ измѣненіемъ состоянія тѣлъ: превращеніе изъ твердаго въ жидкое и газообразное и наоборотъ. Превращенія эти сопровождаются явленіями скрытой теплоты.

3) Нагрѣваніе тѣлъ происходитъ: а) чрезъ прикосновеніе —теплопроводность; б) дѣйствіемъ на разстояніи—лучистая теплота (сквозь пустоту, газы и вообще теплопрозрачныя тѣла); с) въ жидкихъ и газообразныхъ тѣлахъ также чрезъ смѣшеніе слоевъ—переносъ теплоты. Теплопроводность металлическихъ палочекъ или проволокъ сравниваютъ, покрывая ихъ слоемъ воску и нагрѣвая ихъ концы. Жидкости имѣютъ очень слабую теплопроводность. Наибольшая плотность воды при $+4^0$ Ц. Отъ $+4^0$ Ц. вода, и при нагрѣваніи и при охлажденіи, расширяется.

4) Коэффиціентъ *кубическаго* расширенія есть дробь показывающая приращеніе единицы *объема* тѣла при возвышеніи температуры на одинъ градусъ. Коэффиціентъ *линейнаго* расширенія есть дробь показывающая приращеніе единицы *длины* тѣла при возвышеніи температуры на одинъ градусъ (въ однородномъ тѣлѣ коэффиціентъ кубическаго расширенія можно приблизительно принять равнымъ тройному линейному). Двучленъ $1+\alpha t$ называется *биномомъ расширенія*. Объемъ тѣла при какой-нибудь температурѣ равняется объему при 0^0 *помноженному* на биномъ расширенія. Плотность при какой-нибудь температурѣ равняется плотности при 0^0 *дѣленной* на биномъ расширенія. ($V = V_0(1+\alpha t)$; $D_t = \dfrac{D}{1+\alpha t}$). Коэффиціентъ абсолютнаго расширенія ртути (независимо отъ сосуда, опредѣляется на

основаніи закона равновѣсія жидкостей неодинаковой плотности) есть $\dfrac{1}{5550}$.

5) Законъ равновѣсія жидкостей разной плотности позволяетъ привести къ 0^0 наблюдаемую при t^0 барометрическую высоту, ибо $H_t : H_0 = D : \dfrac{D}{1+\alpha t}$ или $H_0 = H_t \cdot \dfrac{5550}{5550+t}$. Коэффиціентъ расширенія разныхъ газовъ приблизительно одинаковъ и есть ${}^1/_{273}$ доля объема газа при 0^0 (постояненъ при всякой плотности и температурѣ газа: законъ Гей-Люссака). Вѣсъ кубическаго метра воздуха при давленіи H и температурѣ t^0 выражается формулою $p = 1{,}291^{\text{кил.}} \cdot \dfrac{H}{760} \cdot \dfrac{1}{1+\alpha t}$ гдѣ 1,293 килограммовъ есть вѣсъ куб. метра воздуха при 0^0 и 760 миллим. давленія, $\alpha = {}^1/_{273}$ коэффиціентъ расширенія воздуха.

6) *Единицею теплоты* называется количество теплоты потребное для нагрѣванія единицы вѣса (килограмма) воды отъ нуля на одинъ градусъ. *Удѣльною теплотою* называется количество теплоты потребное для нагрѣванія единицы вѣса даннаго тѣла на одинъ градусъ. (Удѣльная теплота воды есть единица; большинства другихъ тѣлъ дробь). Если вѣсъ даннаго тѣла есть m, удѣльная теплота c, то произведеніе mc или *приведенное къ водѣ* количество тѣла выражаетъ вѣсъ воды, доставляющій и принимающій, при тѣхъ же условіяхъ температуры то же количество теплоты какъ данное тѣло.

7) Если смѣшать m килогр. воды при t^0 съ m' килогр. при t'^0, то температура смѣси x будетъ $x = \dfrac{mt+m't'}{m+m'}$ (ибо масса m, если допустимъ что t больше t', доставляетъ $m(t-x)$ единицъ теплоты; масса m' принимаетъ $m'(x-t')$ тѣла, и эти величины равны) Если m килограммовъ тѣла, искомая удѣльная теплота котораго есть x, опустить при T^0 въ M килограммовъ воды при θ^0, то температуру смѣси найдемъ по той же формулѣ, если m приведемъ къ водѣ, то-есть замѣнимъ величиною mx. Будемъ имѣть $t = \dfrac{mxT + M\theta}{mx + M}$ или $mx(T-t) = M(t-\theta)$, откуда легко найти x. Чтобы обратить вниманіе на металлическія стѣнки калориметра, надо вмѣсто M взять $M+m'c$, гдѣ m' вѣсъ вещества калориметрическаго сосуда, c его удѣльная теплота. Формула бу-

детъ $mx(T-t)=(M+m'c)(t-\theta)$. Чтобы опредѣлить c надо сдѣлать опытъ, погружая въ калориметръ кусокъ того самаго матеріала изъ котораго сдѣланъ сосудъ калориметра; тогда $x=c$, и будемъ имѣть уравненіе съ однимъ неизвѣстнымъ.

II. Дѣйствія тепла съ измѣненіемъ состоянія тѣлъ.

8) О *скрытой теплотѣ плавленія* свидѣтельствуютъ а) медленность таянія льда и постоянство температуры таянія (опытъ съ нагрѣваніемъ въ одинакихъ условіяхъ равнаго вѣса льда и воды взятыхъ при 0°); b) значительность охлажденія воды при погруженіи куска льда въ ней растаивающаго; c) нагрѣваніе воды при замерзаніи, если первоначально она была въ жидкомъ видѣ охлаждена ниже точки замерзанія. Дѣйствіе холодящихъ смѣсей объясняется скрытой теплотой. Скрытая теплота таянія льда есть 79,3 единицы тепла. Вода, преобразуясь въ ледъ, расширяется.

9) О *скрытой теплотѣ парообразованія* свидѣтельствуютъ 1) медленность, съ какою доведенная до кипѣнія вода превращается въ паръ до суха (въ шестеро долже чѣмъ нагрѣваніе до кипѣнія); 2) постоянство точки кипѣнія; 3) значительность количества теплоты выдѣляемой паромъ при сгущеніи въ жидкое состояніе. Скрытая теплота парообразованія въ случаѣ воды при температурѣ кипѣнія подъ атмосфернымъ давленіемъ, то-есть количество тепла потребное для того чтобы килограммъ воды при 100° обратить въ паръ при той же температурѣ, есть 537 единицъ теплоты (слѣд. 637 единицъ потребно чтобы килограммъ воды при 0° обратить въ паръ при 100°, нагрѣвъ воду въ жидкомъ видѣ до 100° и потомъ кипѣніемъ выпаряя); это *полная теплота* парообразованія при 100°. Холодъ при испареніи (опытъ Лесли) объясняется скрытою теплотою парообразованія.

10) Жидкость обращается въ паръ: 1) вообще испареніемъ въ воздухѣ и газахъ медленно, въ пустотѣ быстро; 2) *кипѣніемъ*, которое есть испареніе въ особыхъ условіяхъ характеризующееся образованіемъ *пузырей*. Чтобы внутри жидкой массы могъ образоваться пузырь ея пара, температура должна быть такова чтобы соотвѣтствующая этой температурѣ упругость пара превысила давленіе атмосферы плюсъ давленіе столба жидкости надъ мѣстомъ образованія пузыря, а слѣд. при самой поверхности равнялась

давленію подъ какимъ происходитъ кипѣніе. Такимъ образомъ упругость пара подымающагося отъ кипящей жидкости равна давленію подъ какимъ кипѣніе происходитъ (этимъ пользуются для опредѣленія упругости пара при высокихъ температурахъ).

11) Газообразныя тѣла бываютъ: а) газы собственно; ихъ можно разсматривать какъ пары далекіе отъ точки насыщенія; 2) пары,—которые можно разсматривать какъ газы близкіе къ точкѣ насыщенія. Паръ есть такое состояніе газа когда онъ при нѣкоторомъ охлажденіи или сжатіи частію обращается въ жидкое состояніе. Газы подчиняются закону Маріотта. Пары также подчиняются, но съ ограниченіемъ: при каждой температурѣ паръ имѣетъ свой предѣлъ упругости (наибольшая упругость, упругость насыщенія) выше котораго паръ не можетъ быть сжатъ и при продолжающемся уменьшеніи объема постепенно весь обращается въ жидкое состояніе. Если жидкость помѣщена въ пустотѣ, она быстро испаряется, и паръ немедленно достигаетъ maximum упругости, соотвѣтственно температурѣ опыта. Въ двухъ сообщающихся пространствахъ разной температуры устанавливается упругость, соотвѣтствующая холодному пространству, и жидкость вся дистиллируется при этомъ въ холодное пространство. Наибольшая упругость какая можетъ быть достигнута паромъ въ воздухѣ и газахъ такова же какъ въ пустотѣ, но парообразованіе происходитъ медленно.

Газъ, если температура его не превышаетъ извѣстнаго предѣла, можетъ быть чрезъ сдавленіе обращаемъ въ жидкое состояніе (предѣлъ для углекислоты около 31°; для газовъ которые какъ кислородъ, азотъ, водородъ не могли быть приведены въ жидкое состояніе, предѣлъ, надо полагать, находится весьма низко; для газообразнаго состоянія воды и другихъ жидкостей, напротивъ того, весьма высоко).

12) Чтобы опредѣлить упругость насыщенія при разныхъ температурахъ употребляютъ а) для среднихъ температуръ —барометрическую методу Дальтона (паръ образуется въ Торричелліевой пустотѣ; b) для низкихъ—охлажденіе загнутой верхушки барометрической трубки съ паромъ; c) для высокихъ—кипѣніе при разныхъ давленіяхъ (упругость пара при кипѣніи равна давленію, при какомъ кипѣніе производится).

13) На свойствѣ пара, находящагося въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости, пріобрѣтать при нагрѣваніи до высокой температуры упругость многихъ атмосферъ и быстро

терять ее чрезъ сообщеніе съ холоднымъ пространствомъ основывается употребленіе пара какъ двигателя въ паровой машинѣ. Машина Уатта съ двойнымъ дѣйствіемъ и холодильникомъ (низкаго давленія); безъ холодильника, когда паръ выходитъ въ воздухъ (высокаго давленія).

14) *Влажностію* воздуха называется отношеніе того количества пара какое есть въ данномъ объемѣ воздуха къ тому какое заключалось бы въ этомъ объемѣ въ случаѣ насыщенія. Отношеніе этихъ количествъ равно отношенію упругости какую въ данномъ случаѣ имѣетъ паръ къ той которая соотвѣтствуетъ насыщенію при температурѣ опыта. Влажность опредѣляется a) помощію химической методы осушенія даннаго объема воздуха, b) помощію сравненія температуръ сухаго и мокраго термометра (психрометръ); c) помощію наблюденія точки росы (гигрометръ Даніеля и Реньйо); d) помощію гигроскопическихъ тѣлъ (волосъ въ гигроскопѣ Соссюра).

15) Водяные осадки въ атмосферѣ суть туманъ и облака, дождь, снѣгъ и градъ; роса и иней—слѣдствіе охлажденія тѣлъ, путемъ лучеиспусканія, ниже температуры омывающаго ихъ воздуха.

III. Механическая теорія теплоты.

16) Механическая работа можетъ порождать теплоту и теплота работу. Механическій эквивалентъ теплоты есть количество работы какую производитъ, преобразуясь въ работу, единица теплоты (425 килограмметровъ). Опыты съ треніемъ (Румфордъ, Джоль) представляютъ случай перехода механической работы въ теплоту и могутъ служить къ опредѣленію эквивалента. Теплота переходитъ въ работу, напримѣръ въ паровой машинѣ. При этомъ теплота отъ тѣла высокой температуры переходитъ къ тѣлу низкой температуры; утраченная при переходѣ часть преобразуется въ работу (аналогія съ водянымъ колесомъ; но тамъ количество воды воды остается неизмѣннымъ). Энергія бываетъ кинетическая (энергія движенія) и *потенціальная* (энергія положенія). Тепло есть частичная кинетическая энергія тѣла.

IV. Лучистыя явленія.

17) *Прямолинейное распространеніе свѣта* доказывается a) образованіемъ тѣни; b) образованіемъ изображеній въ темной комнатѣ чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ.

18) *Сила освѣщенія* опредѣляется a) чрезъ сравненіе тѣней; b) чрезъ освѣщеніе экрана, котораго одна часть прозрачнѣе остальныхъ и который сзади освѣщается нѣкоторымъ постояннымъ источникомъ. Измѣривъ разстояніе сравниваемыхъ источниковъ отъ соотвѣтствующихъ тѣней въ первомъ случаѣ и отъ экрана (когда исчезаетъ видимая разница частей экрана) во второмъ, надо разстоянія возвести въ квадратъ чтобы найти искомое отношеніе (ибо сила освѣщенія уменьшается пропорціонально квадрату разстоянія). Силу освѣщенія не должно смѣшивать съ видимою яркостію источника.

19) *Законы отраженія:* a) уголъ паденія и уголъ отраженія находятся въ одной плоскости (иначе: лучъ падающій и лучъ отраженный находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ паденія); b) уголъ паденія равенъ углу отраженія. Углами паденія и отраженія именуются углы луча съ перпендикуляромъ паденія; перпендикуляръ паденія въ случаѣ сферической поверхности есть радіусъ.

20) Лучи выходящіе изъ одной точки S послѣ отраженія отъ *плоскаго зеркала* идутъ такъ какъ если бы выходили изъ точки лежащей на перпендикулярѣ опущенномъ изъ S на зеркало и находящейся за зеркаломъ на такомъ разстояніи на какомъ точка S находится передъ зеркаломъ. Этимъ объясняется образованіе изображеній (мнимыхъ) въ плоскомъ зеркалѣ; изображеніе *симметрично* предмету. Лучи солнца отраженные отъ зеркала освѣщаютъ такъ какъ если бы за зеркаломъ было солнце симметричное съ настоящимъ, а вмѣсто зеркала было отверстіе.

21) Лучи выходящіе изъ одной точки S по отраженіи отъ вогнутаго сферическаго зеркала идутъ какъ если бы они *приблизительно* выходили изъ одной точки называемой *сопряженнымъ фокусомъ* или *изображеніемъ* точки S (такъ какъ отраженный пучокъ не есть строго коническій, то происходитъ *сферическая аберрація*, причина неясности изображеній).

Лучи выходящіе изъ точки S, лежащей на оси зеркала (ось зеркала есть линія проходящая чрезъ центръ и средину зеркала) на разстояніи d отъ вершины, по отраженіи соединяются въ фокусѣ на разстояніи f отъ зеркала, опредѣляемомъ изъ формулы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$, гдѣ r радi-

усъ зеркала. При $d=\infty$, $\frac{1}{F}=\frac{2}{r}$; $F=\frac{r}{2}$ (гдѣ буквою F назвали f для этого случая). Въ главномъ фокусѣ сходятся параллельные лучи; получается изображеніе солнца. Отсюда $\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$, одна изъ главныхъ формулъ оптики.

22) Вопросъ объ изображеніи точки внѣ оси лежащей разрѣшается проведеніемъ *побочной* оси (то-есть линіи чрезъ точку откуда идутъ лучи и центръ зеркала).

Если на разстояніи d отъ вогнутаго зеркала находится цѣлый предметъ въ плоскости перпендикулярной оси, то изображеніе каждой его точки будетъ на соотвѣтствующей этой точкѣ побочной оси въ разстояніи f отъ зеркала. Плоскость проведенная въ разстояніи f отъ вершины зеркала перпендикулярно къ оси пересѣчетъ всѣ конусы отраженныхъ лучей приблизительно при ихъ вершинахъ и слѣдов. приметъ изображеніе всего предмета. Изображеніе находится въ углѣ образуемомъ линіями проведенными отъ вершины и основанія предмета чрезъ центръ зеркала (изъ центра зеркала изображеніе и предметъ представляются подъ одинаковымъ угломъ). Изображеніе верхней точки внизу, слѣдов. вообще обратное. Чтобы графически построить изображеніе предмета, достаточно найти изображеніе одной его точки (плоскость проведенная чрезъ это изображеніе перпендикулярно оси будетъ заключать въ себѣ изображенія и всѣхъ другихъ точекъ въ мѣстахъ пересѣченія побочныхъ осей съ этою плоскостію). А чтобы найти изображеніе одной точки достаточно найти пересѣченіе двухъ лучей изъ нея выходящихъ (ибо гдѣ пересѣкутся эти два тамъ и всѣ другіе). Такими лучами удобно выбрать: идущій чрезъ центръ (отражается по своему направленію) и проходящій параллельно оси (по отраженіи проходитъ чрезъ главный фокусъ, то-есть средину радіуса). Если предметъ на большомъ разстояніи то изображеніе въ главномъ фокусѣ малое, обратное; если на двойномъ фокусномъ, то-есть въ центрѣ зеркала, то изображеніе совпадаетъ съ предметомъ и есть обратное, равной съ нимъ величины; если предметъ между двойнымъ и простымъ фокусными разстояніями, то изображеніе, обратное и увеличенное, можетъ быть принято на экранъ надлежаще удаленный. Если предметъ ближе главнаго фокуса, то изображеніе *мнимое*.

23) Отъ солнца и источниковъ высокой температуры идутъ вообще лучи: a) темные лучи теплоты; b) лучи, кромѣ

способности грѣть, имѣющіе способность свѣтить—свѣтлые лучи теплоты (тѣ и другіе высокой температуры). Отъ источниковъ не высокой температуры идутъ лишь темные лучи теплоты. Всѣ эти лучи отражаются по одинаковымъ законамъ. Доказательство помощію вогнутыхъ зеркалъ (кажущееся отраженіе холода).

Вообще падающіе на поверхность тѣла лучи a) отражаются правильнымъ отраженіемъ; b) разсѣваются неправильнымъ отраженіемъ; c) входятъ въ тѣло и, поглащаясь имъ, нагрѣваютъ его. Поглощенная и нагрѣвавшая тѣло теплота имъ въ свою очередь лучеиспускается. Лучи при отраженіи и разсѣяніи не измѣняются по отношенію къ числу колебаній или преломляемости; при новомъ испусканіи послѣ поглощенія, мѣняются. Въ данной системѣ тѣлъ, чрезъ взаимное лучеиспусканіе, устанавливается одинаковая температура или подвижное равновѣсіе теплоты. При этомъ каждое тѣло въ данное время сколько получаетъ теплоты столько и отдаетъ. Отдаетъ a) чрезъ отраженіе (правильное и разсѣянное) нѣкоторое количество B; b) чрезъ собственное испусканіе количество C. Должно быть $B+C=A$, гдѣ A принимаемое количество. Отраженіе и испусканіе взаимно пополняются: чѣмъ одно больше тѣмъ другое меньше. Лучепоглощеніе и лучеиспусканіе одинаковы: тѣло способное болѣе испускать способно и болѣе поглощать (полированныя поверхности, сажею покрытыя и т. д.). Инструменты: дифференціальный термометръ, столбецъ Меллони.

24) *Законы преломленія.* 1) Уголъ паденія и уголъ преломленія находятся въ одной плоскости (иначе: лучъ падающій и лучъ преломленный находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ паденія); 2) синусъ угла паденія къ синусу угла преломленія находится въ постоянномъ отношеніи, называемомъ показателемъ преломленія : $\frac{\sin i}{\sin r}=n$.

Для малыхъ угловъ $\frac{i}{r}=n$. Въ случаѣ перехода изъ воздуха въ воду $n={}^4/_3$; въ случаѣ стекла $n={}^3/_2$. Лучъ перпендикулярно падающій не преломляется. Лучъ входя въ болѣе преломляющую среду приближается къ перпендикуляру; входя въ менѣе преломляющую удаляется отъ перпендикуляра. Если показатель при переходѣ изъ среды A въ среду B есть n. то при переходѣ изъ среды B въ среду A онъ есть $\frac{1}{n}$ (изъ воды въ воздухъ $\frac{1}{n}={}^3/_4$, изъ стекла $\frac{1}{n}={}^2/_3$).

25) *Полное внутреннее отраженіе.* Если уголъ паденія $i = 90^0$, то уголъ преломленія ρ найдется изъ условія $\frac{1}{sin\,\rho} = n$, или $sin\,\rho = \frac{1}{n}$. Уголъ ρ есть *уголъ предѣлъ* (въ случаѣ воды $\rho = 48^0 27'$, въ случаѣ стекла $\rho = 41^1/_2{}^0$). Если при выходѣ изъ среды болѣе преломляющей (напримѣръ изъ стекла или воды въ воздухъ) уголъ паденія внутри среды равенъ углу-предѣлу, то лучъ выйдетъ по самой поверхности; если сколько-нибудь болѣе, то не выйдетъ: произойдетъ *полное внутреннее отраженіе*; напримѣръ, въ прямоугольной призмѣ). И при углѣ, внутри среды, меньшемъ предѣла также есть отраженіе, но вообще слабое.

26) *Преломленіе въ средѣ съ параллельными стѣнками.* Лучъ пройдя чрезъ одинъ или нѣсколько преломляющихъ слоевъ съ параллельными стѣнками, выходитъ параллельно своему начальному направленію (опредѣленіе относительнаго показателя преломленія). Лучъ, пройдя чрезъ призму, отклоняется къ ея основанію, то-есть толстому концу.

27) *Стекла или линзы* бываютъ 1) собирающія (толще въ срединѣ), 2) разсѣвающія (толще къ краямъ). Собирающее стекло даетъ дѣйствительныя изображенія, подобно вогнутому зеркалу. Теорія изображеній вполнѣ сходна, причемъ *оптическій центръ* стекла (приблизительно лежащій въ срединѣ его толщины) играетъ ту же роль какъ геометрическій *центръ* зеркала. Изображеніе обратное, по другую сторону стекла. Оптическій центръ имѣетъ то свойство что направленный къ нему лучъ проходитъ не преломляясь (вліяніе толщины стекла пренебрегается). Мѣсто изображенія опредѣляется формулою $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$; величина—угломъ проведеннымъ отъ вершины и основанія предмета, чрезъ оптическій центръ стекла. Чтобы графически построить изображеніе, надлежитъ изъ какой-нибудь точки предмета провести два луча: одинъ параллельный оси, другой направленный къ оптическому центру стекла; первый, по преломленіи, пройдетъ чрезъ главный фокусъ (положеніе котораго предполагается извѣстнымъ,—опредѣленнымъ, напримѣръ, чрезъ выставленіе стекла перпендикулярно лучамъ солнца и нахожденіе мѣста гдѣ они сходятся), другой пройдетъ безъ преломленія. Гдѣ они пересѣкутся будетъ изображеніе точки. Плоскость проведенная чрезъ это мѣсто перпендикулярно оси будетъ заключать въ себѣ изображеніе всего предмета.

28) Инструменты основанные на употребленіе собирающаго стекла въ качествѣ дающаго изображеніе на экранѣ суть: 1) камера-обскура, столь важная въ фотографіи; 2) волшебный фонарь; солнечный микроскопъ.

29) *Глазъ.* Въ глазѣ различаемъ части: sclerotica, choroidea, retina; cornea, радужная перепонка съ зрачкомъ, хрусталикъ; водянистая и стекловидная влаги. Желтое пятно, слѣпое пятно. Глазъ въ оптическомъ отношеніи есть камера ограниченная выпуклою поверхностію и наполненная прозрачною средою, показатель преломленія которой равенъ показателю воды. Можетъ быть сравниваемъ и съ обыкновенною камеръ-обскурою. Хрусталикъ усиливаетъ преломленіе (изображеніе было бы далѣе ретины); помощію его достигается приспособленіе глаза (передняя кривизна хрусталика, при наблюденіи близкихъ предметовъ, усиливается). Глазъ имѣетъ очень большое поле зрѣнія, но изображеніе отчетливо лишь въ малой центральной части ретины, гдѣ нервная оболочка особенно чувствительна. Сохраненіе впечатлѣній (вращающееся колесо, освѣщеніе электрическою искрою). Зрѣніе есть психическій актъ составленія картины внѣшняго міра; предметы не кажутся верхъ ногами, хотя таково ихъ изображеніе, ибо мы научились находить ихъ истинное положеніе въ пространствѣ.

30) *Наблюденіе глазомъ дѣйствительныхъ и мнимыхъ оптическихъ изображеній образованныхъ путемъ отраженія.* a) Не ставя экрана, можно глазомъ наблюдать *дѣйствительное, воздушное,* изображеніе, доставляемое вогнутымъ зеркаломъ, если помѣстимъ глазъ такъ что въ него будутъ попадать лучи изъ точекъ служащихъ изображеніями соотвѣтствующихъ точекъ предмета. b) *Мнимыя* изображенія (не пролагающіеся на экранъ, а наблюдаемыя только глазомъ) представляются: *плоскимъ* зеркаломъ на томъ же разстояніи какъ предметъ и въ семметричномъ положеніи; *вогнутымъ*—за зеркаломъ въ прямомъ увеличенномъ видѣ и дальше чѣмъ предметъ (разтояніе f по формулѣ $\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$); *выпуклымъ*—въ прямомъ маломъ видѣ ближе половины радіуса зеркала (по формулѣ $\frac{1}{f} - \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$). Близорукій ясно видитъ отраженіе въ выпукломъ зеркалѣ. Въ каплѣ ртути отраженный ландшафтъ можно разсматривать въ микроскопъ.

31) *Наблюденіе изображеній, образованныхъ путемъ преломленія.* a) Чрезъ одну преломляющую поверхность: предметъ кажется поднявшимся; палка въ водѣ преломлен-

36) *Катоптрическіе телескопы*, — съ вогнутымъ зеркаломъ. Телескопы Ньютона, Гершеля, Фуко.

37) *Сложный микроскопъ*. Объективъ—стекло съ короткимъ фокусомъ; окуляръ обыкновенно негативный. Увеличеніе равно произведенію увеличенія объектива на увеличеніе окуляра.

38) *Скорость свѣта*, по способу Ремера, опредѣлена чрезъ наблюденіе затменій спутниковъ Юпитера. Когда земля приближается, погруженія спутника въ тѣнь слѣдуютъ одно за другимъ скорѣе чѣмъ какъ слѣдуютъ выхожденія изъ тѣни когда земля удаляется. Свѣтъ въ секунду проходитъ 290 000 верстъ (300 000 километровъ). Отъ солнца до земли въ 8 м. 13 с.: Физо опредѣлилъ скорость свѣта прямымъ опытомъ на землѣ.

39) *Разнородность лучей. Образованіе спектра.* Пропустивъ пучокъ солнечныхъ лучей чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ и преломивъ его призмою, Ньютонъ получилъ вмѣсто круглаго изображенія солнца,—какъ бы требовала теорія если допустить что всѣ лучи имѣютъ одинаковый показатель преломленіе,—изображеніе продолговатое, радужное, съ закругленными краями (спектръ). Объяснилъ разногласіе теоріи и опыта тѣмъ что 1) лучи имѣютъ не одинакую преломляемость, 2) что лучи разной преломляемости возбуждаютъ ощущеніе разныхъ цвѣтовъ: наименѣе преломляющіеся краснаго, наиболѣе преломляющіеся фіолетоваго. Ощущеніе же бѣлаго цвѣта сложное. Что лучи разныхъ призматическихъ цвѣтовъ преломляются разно доказываетъ опытъ „съ перекрестными призмами"; что бѣлый цвѣтъ происходитъ отъ смѣшенія цвѣтовъ—опытъ съ вращающимся дискомъ раздѣленнымъ на секторы радужныхъ цвѣтовъ.

40) *Спектръ на экранѣ и спектръ наблюдаемый глазомъ.* Спектръ можно произвести *объективно* на экранѣ: a) въ случаѣ солнечныхъ лучей: пропустивъ пучекъ чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ и перемѣстивъ изображеніе преломленіемъ пучка въ призмѣ, или пропустивъ лучи чрезъ круглое отверстіе или щель помѣщенные (Ньютонъ) на двойномъ фокусномъ разстояніи отъ стекла съ длиннымъ фокусомъ и изображеніе, какое стекло стремится произвести, перемѣстивъ помощію призмы, за стекломъ поставленной; b) въ случаѣ электрическаго фонаря и вообще лампы, — пропустивъ лучи чрезъ діафрагму съ круглымъ отверстіемъ или щелью, поставивъ на пути ихъ пролагающее стекло и перемѣстивъ изображеніе призмою. Спектръ происходитъ отъ

сопомѣщенія изображеній производимыхъ системами лучей разной преломляемости. Для чистоты спектра каждое изображеніе должно по возможности не смѣшиваться съ сосѣдними.

c) *Субъективный* спектръ, то-есть наблюдаемый прямо глазомъ, получаемъ смотря глазомъ чрезъ призму на узкую щель помѣщенную предъ источникомъ свѣта. Лучше: передъ щелью поставить собирающее стекло такъ чтобы она была въ его фокусѣ; будемъ имѣть какъ бы очень отдаленную узкую щель доставляющую лучи. На эту щель будемъ смотрѣть чрезъ призму, поставивъ предъ глазомъ зрительную трубу и наблюдая такимъ образомъ отклоненное призмою и преобразованное въ спектръ изображеніе щели (такой снарядъ изъ двухъ трубъ съ призмою между ними есть *спектроскопъ*).

41) Кромѣ призмы цвѣтные лучи доставляются 1) цвѣтными средами, 2) поверхностями цвѣтныхъ предметовъ. Эти цвѣтные лучи обыкновенно сложные, хотя глазъ простой цвѣтной лучъ не отличаетъ отъ сложнаго того же цвѣтнаго оттѣнка. Чрезъ призму переходы отъ свѣта къ тѣни представляются радужно окаймленными; а широкія бѣлыя поверхности остаются бѣлыми. Лучи разной преломляемости соотвѣтствуютъ въ акустикѣ тонамъ разной высоты.

42) Спектры бываютъ трехъ родовъ: 1) сплошной—отъ раскаленныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ (или очень сгущенныхъ газовъ). 2) Спектръ втораго рода, изъ отдѣльныхъ цвѣтныхъ полосъ раздѣленныхъ значительными темными промежутками — спектръ раскаленныхъ газовъ и паровъ (отъ пламени горѣлки Бунзена, когда въ нее введена соль натрія, калія или инаго металла; отъ углей электрическаго фонаря, если на нижній, широкій, положенъ кусочекъ металла; отъ Гейслеровыхъ трубокъ съ разрѣженными газами, свѣтящимися при проходящемъ токѣ; отъ электрической искры извлекаемой изъ разныхъ металловъ). На изученіи такихъ спектровъ основывается спектральный анализъ. c) Спектръ съ узкими темными полосками или линіями. Таковъ солнечный спектръ съ Фраунгоферовыми линіями. Это есть спектръ, поглощенія, образующійся когда лучи отъ источника очень высокой температуры, который далъ бы сплошной спектръ проходятъ чрезъ менѣе свѣтящуюся атмосферу, содержащую въ газообразномъ состояніи разныя тѣла. Эта атмосфера поглощаетъ тѣ самые лучи какіе испускаютъ, свѣтясь, находящіяся въ ней тѣла. Но такъ какъ свѣтъ испускаемый атмосферою слабъ сравнительно съ свѣтомъ

36) *Катоптрическіе телескопы*, — съ вогнутымъ зеркаломъ. Телескопы Ньютона, Гершеля, Фуко.

37) *Сложный микроскопъ*. Объективъ—стекло съ короткимъ фокусомъ; окуляръ обыкновенно негативный. Увеличеніе равно произведенію увеличенія объектива на увеличеніе окуляра.

38) *Скорость свѣта*, по способу Ремера, опредѣлена чрезъ наблюденіе затменій спутниковъ Юпитера. Когда земля приближается, погруженія спутника въ тѣнь слѣдуютъ одно за другимъ скорѣе чѣмъ какъ слѣдуютъ выхожденія изъ тѣни когда земля удаляется. Свѣтъ въ секунду проходитъ 290 000 верстъ (300 000 километровъ). Отъ солнца до земли въ 8 м. 13 с.: Физо опредѣлилъ скорость свѣта прямымъ опытомъ на землѣ.

39) *Разнородность лучей. Образованіе спектра.* Пропуствивъ пучокъ солнечныхъ лучей чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ и преломивъ его призмою, Ньютонъ получилъ вмѣсто круглаго изображенія солнца,—какъ бы требовала теорія если допустить что всѣ лучи имѣютъ одинаковый показатель преломленіе,—изображеніе продолговатое, радужное, съ закругленными краями (спектръ). Объяснилъ разногласіе теоріи и опыта тѣмъ что 1) лучи имѣютъ не одинакую преломляемость, 2) что лучи разной преломляемости возбуждаютъ ощущеніе разныхъ цвѣтовъ: наименѣе преломляющіеся краснаго, наиболѣе преломляющіеся фіолетоваго. Ощущеніе же бѣлаго цвѣта сложное. Что лучи разныхъ призматическихъ цвѣтовъ преломляются разно доказываетъ опытъ „съ перекрестными призмами“; что бѣлый цвѣтъ происходитъ отъ смѣшенія цвѣтовъ—опытъ съ вращающимся дискомъ раздѣленнымъ на секторы радужныхъ цвѣтовъ.

40) *Спектръ на экранѣ и спектръ наблюдаемый глазомъ.* Спектръ можно произвести *объективно* на экранѣ: a) въ случаѣ солнечныхъ лучей: пропустивъ пучекъ чрезъ малое отверстіе въ ставнѣ и перемѣстивъ изображеніе преломленіемъ пучка въ призмѣ, или пропустивъ лучи чрезъ круглое отверстіе или щель помѣщенные (Ньютонъ) на двойномъ фокусномъ разстояніи отъ стекла съ длиннымъ фокусомъ и изображеніе, какое стекло стремится произвести, перемѣстивъ помощію призмы, за стекломъ поставленной; b) въ случаѣ электрическаго фонаря и вообще лампы,—пропустивъ лучи чрезъ діафрагму съ круглымъ отверстіемъ или щелью, поставивъ на пути ихъ пролагающее стекло и перемѣстивъ изображеніе призмою. Спектръ происходитъ отъ

сопомѣщенія изобржаній производимыхъ системами лучей разной преломляемости. Для чистоты спектра каждое изображеніе должно по возможности не смѣшиваться съ сосѣдними.

c) *Субъективный* спектръ, то-есть наблюдаемый прямо глазомъ, получаемъ смотря глазомъ чрезъ призму на узкую щель помѣщенную предъ источникомъ свѣта. Лучше: передъ щелью поставить сбирающее стекло такъ чтобы она была въ его фокусѣ; будемъ имѣть какъ бы очень отдаленную узкую щель доставляющую лучи. На эту щель будемъ смотрѣть чрезъ призму, поставивъ предъ глазомъ зрительную трубу и наблюдая такимъ образомъ отклоненное призмою и преобразованное въ спектръ изображеніе щели (такой снарядъ изъ двухъ трубъ съ призмою между ними есть *спектроскопъ*).

41) Кромѣ призмы цвѣтные лучи доставляются 1) цвѣтными средами, 2) поверхностями цвѣтныхъ предметовъ. Эти цвѣтные лучи обыкновенно сложные, хотя глазъ простой цвѣтной лучъ не отличаетъ отъ сложнаго того же цвѣтнаго оттѣнка. Чрезъ призму переходы отъ свѣта къ тѣни представляются радужно окаймленными; а широкія бѣлыя поверхности остаются бѣлыми. Лучи разной преломляемости соотвѣтствуютъ въ акустикѣ тонамъ разной высоты.

42) Спектры бываютъ трехъ родовъ: 1) сплошной—отъ раскаленныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ (или очень сгущенныхъ газовъ). 2) Спектръ втораго рода, изъ отдѣльныхъ цвѣтныхъ полосъ раздѣленныхъ значительными темными промежутками — спектръ раскаленныхъ газовъ и паровъ (отъ пламени горѣлки Бунзена, когда въ нее введена соль натрія, калія или инаго металла; отъ углей электрическаго фонаря, если на нижній, широкій, положенъ кусочекъ металла; отъ Гейслеровыхъ трубокъ съ разрѣженными газами, свѣтящимися при проходящемъ токѣ; отъ электрической искры извлекаемой изъ разныхъ металловъ). На изученіи такихъ спектровъ основывается спектральный анализъ. c) Спектръ съ узкими темными полосками или линіями. Таковъ солнечный спектръ съ Фраунгоферовыми линіями. Это есть спектръ, поглощенія, образующійся когда лучи отъ источника очень высокой температуры, который далъ бы сплошной спектръ проходятъ чрезъ менѣе свѣтящуюся атмосферу, содержащую въ газообразномъ состояніи разныя тѣла. Эта атмосфера поглощаетъ тѣ самые лучи какіе испускаютъ, свѣтясь, находящіяся въ ней тѣла. Но такъ какъ свѣтъ испускаемый атмосферою слабъ сравнительно съ свѣтомъ

источника, то мѣста поглощенія кажутся темными хотя и освѣщены слабымъ свѣтомъ спектра атмосферы. На изученіи темныхъ линій спектра основывается приложеніе спектральнаго анализа къ изслѣдованію состава атмосферы солнца и звѣздъ.

43) Гершель открылъ что за предѣлами видимаго спектра (за краснымъ цвѣтомъ) находятся темные лучи теплоты. Ихъ можно отдѣлить отъ свѣтлыхъ, по методѣ Тиндаля, помощію раствора іода въ сѣрнистомъ углеродѣ. Раскаленіе и сожиганіе темными лучами Тиндаль назвалъ явленіемъ *калоресценціи*. Спектръ нормальный въ термическомъ отношеніи, производится призмою и линзою изъ каменной соли.

44) Разнородность лучей теплоты Меллони доказалъ помощію термо-электрическаго столбца. Разныя тѣла, одинаково прозрачныя, не въ одинаковомъ количествѣ пропускаютъ лучи отъ разныхъ источниковъ. Каменная соль тѣло по преимуществу теплопрозрачное. Квасцы пропускаютъ лучи свѣтлые и задерживаютъ темные (особенно невысокой температуры). Темные лучи (высокой температуры) проходятъ чрезъ черное стекло. Для лучей прошедшихъ (какъ бы процѣженыхъ) чрезъ одну пластинку, другая такая пластинка теплопрозрачна какъ каменная соль (подобно тому какъ для лучей прошедшихъ чрезъ красное стекло другое красное стекло не отличается отъ вполнѣ прозрачнаго).

45) Ультра-фіолетовые или химическіе лучи тѣ которые находятся за предѣлами фіолетоваго цвѣта. Видимы, хотя очень слабо. Если въ химическіе лучи, или въ фіолетовые, внести кусокъ стекла окрашеннаго окисью урана или растворъ хинина, а также коштановой коры, то тѣла эти свѣтятся фосфорическимъ свѣтомъ. Явленіе *флуоресценція*.

46) Фотографія изъ двухъ операцій: приготовленіе негатива и снятіе позитива. Негативъ производится на стеклѣ покрытомъ коллодіумомъ, заключающемъ въ себѣ іодистый потассій. Такая пластинка погружается въ ванну съ азотнокислымъ серебромъ (ляписъ): въ слоѣ коллодіума образуется іодистое серебро съ избыткомъ азотнокислаго серебра. Если подвергнуть пластинку въ камеръ-обскурѣ дѣйствію свѣта, то получающія свѣтъ мѣста претерпятъ, невидимое вначалѣ, измѣненіе. Если облить затѣмъ пластинку растворомъ сѣрнокислаго желѣза (желѣзный купоросъ) или пирогалловой кислотою, то серебро осѣдаетъ на мѣстахъ гдѣ дѣйствовалъ свѣтъ; получается негативъ. Остатокъ солей смывается сѣрноватисто-кислою содою. Если негативъ наложить на бумагу пропитанную хлористымъ серебромъ съ избыткомъ азотнокислаго и выставить на свѣтъ, то бумага подъ мѣстами негатива пропускающими свѣтъ почернѣетъ: получается позитивъ.

47) Вслѣдствіе преломленія въ слояхъ атмосферы свѣтила кажутся выше настоящаго положеніе (атмосферное преломленіе). Чѣмъ ближе къ зениту, тѣмъ оно менѣе. При поверхности сильно нагрѣтыхъ тѣлъ необыкновенное преломленіе (миражъ).

Радуга образуется каплями дождя. Каждая капля есть вершина воронкообразной полости лучей, какъ бы маленькій рефлекторъ. Если соединимъ глазъ съ солнцемъ и проведемъ отъ глаза линію дѣлающую со сказанной уголъ 42°, то направленый по ней лугъ зрѣнія встрѣтитъ тѣ капли которыя посылаютъ красный цвѣтъ; если уголъ 40° то фелетовый.

Электричество и магнетизмъ.

I. Начальные факты магнетизма.

1) Магниты естественные суть куски магнитнаго желѣзняка (желѣзная руда). Искусственные бываютъ: a) стальные, b) изъ мягкаго желѣза—электро-магниты.

2) *Основные факты:* a) притяженіе желѣза и вообще желѣзо-магнитныхъ тѣлъ (діамагнитныя отталкиваются); b) полярность: сѣверный и южный полюсы, притяженіе разнородныхъ и отталкиваніе однородныхъ; c) магнитное вліяніе: въ мягкомъ желѣзѣ временное намагниченіе; въ стали намагниченіе остающееся и по прекращеніи вліянія. Притяженіе и отталкиваваніе двухъ магнитныхъ массъ m и m' на разстояніи r пропорціонально величинѣ $\frac{mm'}{r^2}$. Магнитъ при дѣйствіи вдаль можно разсматривать какъ двѣ частицы магнитныя помѣщенныя въ его полюсахъ. Намагничиваніе: a) простымъ и двойнымъ натираніемъ (одновременно на двухъ половинахъ полосы); b) методою двойнаго прикосновенія (двойною системою магнитовъ). Для усиленія концы полосы кладутся на желѣзо или на магниты; трущіе магниты ставятся наклонно.

3) Теплота ослабляетъ силу постояннаго магнита: при высокой температурѣ магнитность совсѣмъ утрачивается. Временное намагниченіе чрезъ вліяніе усиливается до красноколенія, затѣмъ уменьшается.

4) *Дѣйствіе земли.* Двоякое: a) *направляющее.* Горизонтальная срѣлка становится по магнитному меридіану (склоненіе есть уголъ магнитнаго меридіана съ географическимъ). Полоса до намагниченія поставленная горизонтально, послѣ намагниченія наклоняется (въ нашемъ полушаріи) сѣвернымъ концемъ книзу (сила земнаго магнетизма направлена слѣдов. не горизонтально). Стрѣлка свободно обращающаяся около центра тяжести (стрѣлка съ горизонтальною осью держимая вилкою висящей на нити) устанавливается въ плоскости магнитнаго меридіана, наклоняясь сѣвернымъ концемъ подъ горизонтъ (уголъ наклоненія). Снарядъ въ которомъ стрѣлка, укрѣпленная на оси проходящей чрезъ ея центръ тяжести, можетъ обращаться въ устанавливаемой такъ или иначе вертикальной плоскости есть *компасъ наклоненія* (если плоскость его совпадаетъ съ магнитнымъ меридіаномъ, то уголъ наклоненія подъ горизонтъ наименьшій: собственно наклоненія; если плоскость перпендикулярна меридіану, стрѣлка становится отвѣсно). Совокупность положеній стрѣлки на разныхъ мѣстахъ земнаго шара въ общихъ чертахъ объясняется, если вообразить у центра земли, по направленію не совпадающему съ направленіемъ оси, короткій сильный магнитъ. Дѣйствіе земли одинаково на тотъ и другой полюсъ (направляющее, пара силъ), ибо магнитъ на поплавкѣ не стремится плыть къ сѣверу, вертикально повѣшенный одинаково вѣситъ какой бы полюсъ ни былъ внизу. b) *Намагничивающее.* Полоса мягкаго желѣза держимая вертикально, или еще лучше по направленію стрѣлки наклоненія, временно намагничивается, получая внизу сѣверный полюсъ (если перевернуть, то конецъ, имѣвшій когда былъ внизу, сѣверный полюсъ, перейдя вверхъ, пріобрѣтетъ южный и наоборотъ). Если желѣзо не вполнѣ мягкое, намагниченіе можетъ сдѣлаться постояннымъ (особенно при сотрясеніи отъ удара).

II. Электричество отъ тренія.

5) Притяженіе легкихъ тѣлъ. Проводники и непроводники (изолированный кондукторъ). Электричество двухъ родовъ: однородныя отталкиваются, разнородныя притягиваются. Тѣла и трущее и натираемое оба электризуются и притомъ противоположно.

6) Электричество *распредѣляется на поверхности* проводника. Свободное электричество наэлектризованнаго тѣла можно представлять себѣ какъ слой электрической жидкости облекающей тѣло. Понятіе: *количество электричества и толщина слоя* въ данномъ мѣстѣ (или *плотность* электричества, также *напряженіе*). На остріѣ теоретически толщина должна возрастать до безконечности, оттого электричество не удерживается и какъ бы стекаетъ (колесо Франклина).

7) Наэлектризованное тѣло полярно электризуетъ приближаемый изолированный проводникъ (*дѣйствіе чрезъ вліяніе*). Разноименное электричество удерживается (связано), одноименное можетъ быть уведено; потому изолированный проводникъ можно наэлектризовать дѣйствіемъ вліянія, если поднести къ источнику, коснуться проводникомъ и удалить.

8) *Электричествомъ чрезъ вліяніе* объясняются a) притяженіе легкихъ тѣлъ (шарикъ на непроводящей нити притягивается слабѣе чѣмъ на проводящей). b) разрядъ въ формѣ искры, кисти, сіянія (разрядъ наступаетъ когда, вслѣдствіе близости, притяженіе разноименныхъ электричествъ становится столь значительнымъ что раздѣляющій непроводникъ не можетъ удержать скопившихся электричествъ). При остріѣ разрядъ уже издали (употребленіе острія для изслѣдованія атмосфернаго электричества, громоотводы). c) сообщеніе электричества на разстояніи, какъ напримѣръ, отъ круга машины кондуктору. d) Электризованіе электроскопа чрезъ вліяніе. Электроскопъ чрезъ прикосновеніе электризуется электричествомъ подносимаго тѣла, чрезъ вліяніе — противоположнымъ. Надо поднести тѣло, коснуться электроскопа и удалить тѣло (отнимая въ то же время руку, слѣд. прекращая сообщеніе съ землею): прежде связанное, разноименное электричество обнаруживается. e) Теорія *конденсатора.* Дискъ сообщенный съ землею (конденсаторъ), поставленный рядомъ съ изолированнымъ (коллекторъ), увеличиваетъ способность послѣдняго принимать электричество отъ постояннаго источника; значительная часть стекаетъ на сторону обращенную къ конденсатору, и коллекторъ становится способнымъ принимать новое количество. Электрическая емкость тѣла увеличивается чрезъ сосѣдство проводниковъ. Конденсаторъ важенъ, если источникъ таковъ что взятое отъ него электричество тотчасъ возстановляется (напримѣръ при опытахъ съ электричествомъ отъ прикосновенія; также при сообщеніи электричества шарикомъ заряженной лейденской банки, гдѣ свободное на шарикѣ находящееся электричество возстанавляется внутри находящимся запасомъ).

9) *Теорія лейденской банки.* Франклинъ показалъ что внутренняя и внѣшняя обкладки заряжены противоположнымъ электричествомъ. Если внутрь сообщено $+E$, то оно чрезъ вліяніе разлагаетъ естественное электричество внѣшней обкладки, причемъ положительное уходитъ въ землю, отрицательное остается; совокупность обкладокъ образуетъ конденсаторъ; на внутренней и ея шарикѣ есть нѣсколько свободнаго электричества (если приблизить палецъ къ шарику, то маленькая искра, и тотчасъ часть электричества на внѣшней освобождается, на внутренней же все связано и т. д.). Если сообщить внутреннюю обкладку съ однимъ проводникомъ, наружную съ другимъ и сблизить проводники, то послѣдуетъ разрядъ и сильная искра. До разряда на проводникѣ сообщенномъ съ внутреннею обкладкою располагается $+E$, на проводникѣ соединенномъ съ наружною обнаруживается $-E$ (чрезъ вліяніе, а отчасти вслѣдствіе новаго распредѣленія). Толстота слоя на сближенныхъ проводникахъ не велика, потому ихъ надо близко чтобы получить искру. За первой искрой слѣдуетъ цѣлый рядъ искръ, и вся совокупность составляетъ разрядъ наблюдаемый какъ одна чрезвычайно кратковременная искра. Въ банкѣ или батареѣ должно различать a) *количество* заряжающаго ее электричества, b) *плотность* его (количество дѣленное на поверхность,—на число банокъ, если сравниваемъ батареи изъ одинаковыхъ банокъ). Дѣйствіе батареи опредѣляется, какъ количествомъ, такъ и плотностію электричества (отъ послѣдней зависитъ стремительность разряда, который тѣмъ кратковременнѣе чѣмъ болѣе плотность). Батарея изъ многихъ банокъ заряженная количествомъ a электричества дѣйствуетъ слабѣе чѣмъ одна банка заряженная тѣмъ же количествомъ.

10) *Электрофоръ.* Когда щитъ положенъ на наэлектризованную смолу, въ немъ происходитъ разложеніе электричества. Одноименное уводится въ землю прикосновеніемъ руки; разноименное удерживается и освобождается когда щитъ поднятъ. Главная особенность—способность долго сохранять электричество (дѣйствіе *формы*, Лейхтенберговы фигуры).

11) *Машина Гольтца* объясняется (по Рису) явленіемъ *двойнаго вліянія.* Непроводникъ, помѣщенный между наэлектризованнымъ тѣломъ и кондукторомъ съ остріями, электризуется съ обѣихъ сторонъ противоположнымъ съ тѣломъ электричествомъ. Вращающійся стеклянный дискъ, проходя между наэлектризованной $-E$ полоской и остріями, электризуется $+E$ и переноситъ это $+E$ ко второй полоскѣ; сообщивъ ей електричество, при дальнѣйшемъ движеніи вновь отъ нее электризуется $-E$, переноситъ это $-E$ къ первой полоскѣ, усиливая ея наэлектризованіе и т. д. Неподвижный дискъ охраняетъ электричество на подвижномъ, исключая мѣстъ соотвѣтствующихъ вырѣзкамъ. Во все время дѣйствія верхній полукругъ имѣетъ одно, нижній другое электричество. При заряженіи, вначалѣ надо держать проводники соединенными. Маленькія лейденскія банки присоединяются къ полюсамъ для усиленія искры (иначе кисть).

12) *Армсторгова паровая электрическая машина.* Струя пара чистой воды, проходя чрезъ деревянные каналы, электризуетъ ихъ треніемъ. Паръ получаетъ $+E$, котелъ—E. Кондукторъ съ остріями принимаетъ электричество пара.

III. Электричество отъ прикосновенія. Гальваническая батарея.

13) *Опыты Гальвани и Вольты съ содраганіемъ лапки лягушки.* Гальвани, сообщая нервъ и мускулъ лапки лягушки помощію металлическаго проводника (особенно если проводникъ изъ двухъ разнородныхъ частей, цинка и мѣди, например) замѣтилъ содраганіе. Думалъ что мускулъ и нервъ— естественная лейденская банка. Вольта a) обнаружилъ чрезвычайную чувствительность лапки для проходящаго чрезъ нее электричества, b) показалъ что нѣтъ надобности сообщать нервъ съ мускуломъ, а достаточно разнороднымъ металлическимъ проводникомъ коснуться нерва въ двухъ пунктахъ, c) показалъ что двумя кружечками, одинъ изъ олова или цинка, другой изъ серебра можно произвести дѣйствіе на нервы языка, d) обратилъ особое вниманіе на разнородность проводника, какъ условіе опыта. Заключилъ что лапка есть чувствительный электроскопъ, а электричество возбуждается въ мѣстахъ прикосновенія металловъ между собою и металловъ съ жидкостями, вообще при прикосновеніи разнородныхъ тѣлъ.

14) *Опыты Вольты съ электричествомъ отъ прикосновенія.* Послѣ нѣсколькихъ лѣтъ изысканій обнаружилъ электричество этого рода помощію электроскопа. Опыты въ такой формѣ: a) касаться двойною палочкой, изъ цинка и мѣди, одного диска конденсатора, сообщивъ другой дискъ съ землею. Если цинкъ въ рукѣ, то дискъ получаетъ $-E$; если мѣдь, то дѣйствіе незамѣтно.

Опытъ можно объяснить или тѣмъ что цинкъ +, мѣдь —; или что жидкость руки +, цинкъ —; или наконецъ обѣими причинами. b) Два диска, одинъ изъ цинка, другой изъ мѣди, на стеклянныхъ ручкахъ, приводятся въ прикосновеніе; оказывается цинкъ +, мѣдь — (опытъ доказывающій развитіе электричества отъ прикосновенія однихъ металловъ). c) Дискъ конденсатора изъ цинка, на немъ дискъ стеклянный съ широкою каплею воды, цинковая проволока отъ цинка къ водѣ (опытъ Буффа, доказывающій развитіе электричества отъ прикосновенія металловъ съ жидкостями). Итакъ, электродвижущая сила обнаруживается какъ при прикосновеніи металловъ такъ и при прикосновеніи металловъ съ жидкостями.

15) *Вольтовъ столбъ* или *гальваническая батарея.* a) Перваго устройства въ формѣ столба. Если начать и кончить двумя металлическими кружками (напримѣръ, цинкъ, мѣдь, папка; цинкъ, мѣдь, папка и т. д., наконецъ цинкъ, мѣдь) то на мѣди $-E$, на цинкѣ $+E$. Если снять по кружку, то полюсы не перемѣнятся и будемъ имѣть на цинкѣ $-E$, на мѣди $+E$ (такъ во всѣхъ батареяхъ съ отдѣльными стаканами). b) Съ отдѣльными стаканами (цинкъ —, мѣдь +). c) Вульстена: мѣдь двойною поверхностію облекаетъ цинкъ, жидкость—вода съ сѣрною кислотою. Это элементы и батареи съ одною жидкостію, непостоянные вслѣдствіе поляризаціи электродовъ (покрытіе мѣди водородомъ электризующимъ ее отрицательно тогда какъ отъ жидкости элемента она электризуется положительно).

Элементы *постоянные* дѣлаются съ двумя жидкостями и суть a) Даніеля, изъ мѣди въ мѣдномъ купоросѣ и цинка въ водѣ съ сѣрной кислотою; скважистый сосудъ раздѣляетъ жидкости водородъ, который осѣлъ бы на мѣдь замѣщаетъ собою мѣдь въ мѣдномъ купоросѣ, и на мѣдномъ электродѣ осѣдаетъ мѣдь, его не поляризующая. b) Грова, изъ платины въ азотной кислотѣ и цинка въ водѣ съ сѣрною кислотой. Водородъ поглащается азотною кислотой, нѣсколько ее раскисляя, и не садится на платину. c) Бунзена—вмѣсто платины плитка угля, приготовляемаго изъ весьма твердаго угля остающагося въ ретортахъ при приготовленіи газа.

16) *Вольтовъ столбъ изучаемый помощію электроскопа.* Если изолированъ, обнаруживаетъ при полюсахъ, на одномъ $+E$, на другомъ $-E$, въ срединѣ нуль. Если одинъ полюсъ соединить съ землею, то на соединенномъ съ землею полюсѣ нуль напряженія; весь столбъ заряжается электричествомъ другаго полюса, и напряженіе на этомъ полюсѣ

удвояется. Напряженіе на полюсахъ пропорціонально числу элементовъ. Явленія объясняются если допустить что между разнородными прикасающимися тѣлами обнаруживается электро-движущая сила, поддерживающая всегда постоянную *разность* напряженій на прикасающихся тѣлахъ. Электростатическія явленія гальванической батареи слабы, и изученіе ихъ электроскопомъ представляетъ много трудностей. Батарея Гассіота изъ 3500 малыхъ элементовъ обнаруживаетъ электростатическія явленія въ значительной силѣ. Сухіе столбы также.

17) *Токъ* обнаруживается если цѣпь закнута. Въ цѣпи изъ однихъ металловъ нѣтъ тока (законъ Вольты). Движеніе электричества обусловливается химическими явленіями цѣпи.

Дѣйствія тока суть: a) химическія, какъ внутри такъ и
внѣ батареи. Разложеніе воды, причемъ водородъ на отри-
цательномъ, кислородъ на положительномъ электродѣ; раз-
ложеніе солей: выдѣленіе металловъ на отрицательномъ
электродѣ, разложеніе щелочей и земель (открытіе Деви
потасія, натрія и т. д.). b) Термическія—накаленіе и рас-
плавленіе проволоки, искра, вообще нагрѣваніе цѣпи (про-
порціонально квадрату силы тока и сопротивленію разсма-
триваемой части). c) Физіологическія. d) Магнитныя: от-
клоненіе стрѣлки и намагниченіе. Послѣдній отдѣлъ составляетъ особую главу—электромагнетизмъ.

IV. Электро-магнитныя явленія.

18) *Опытъ Эрстеда.* Токъ отклоняетъ магнитную стрѣлку,
стремясь помѣстить перпендикулярно къ своему направле-
нію. Сверху и снизу противоположныя дѣйствія. Правило
Ампера: если вообразить наблюдателя лежащимъ по на-
правленію тока такъ чтобы токъ шелъ отъ ногъ къ головѣ
и лицо наблюдателя было обращено къ стрѣлкѣ, то *сѣвер-
ный полюсъ* стрѣлки всегда отклоняется *влѣво* отъ этого
наблюдателя. Если согнуть проволоку по которой идетъ
токъ четыреугольникомъ и стрѣлку помѣстить внутри, то,
согласно правилу Ампера, всѣ четыре вѣтви отклоняются
въ одну сторону; дѣйствіе усиливается.

19) *Гальванометръ съ мультипликаторомъ.* Астатиче-
ская стрѣлка изъ двухъ соединенныхъ перекладинкой, при-
томъ такъ что куда одна смотритъ сѣвернымъ, другая смот-
ритъ южнымъ полюсомъ. Если стрѣлки равны, земной магне-
тизмъ не имѣетъ вліянія (медленность качаній, положеніе

перпендикулярно меридіану—признаки хорошей астатичнос-
ти). Повѣсивъ систему такъ чтобы нижняя стрѣлка была вну-
три мультипликатора, верхняя поверхъ его, получимъ галь-
ванометръ съ астатическими стрѣлками. Токъ на верхнюю
и нижнюю стрѣлки дѣйствуетъ согласно.

20) Гальванометры для сильныхъ токовъ суть: *тангенсъ-
буссоль* и *синусъ-буссоль*. Тангенсъ-буссоль—кольцо съ корот-
кою стрѣлкою въ центрѣ. Сила тока пропорціональна тангенсу
угла отклоненія. Въ синусъ-буссоль кольцо поворачивается
вслѣдъ за отклоняемою имъ стрѣлкою, пока опять стрѣлка
будетъ въ плоскости кольца (сила тока пропорціональна си-
нусу угла отклоненія, стрѣлка можетъ быть длинная).

Вообще гальванометры суть снаряды для измѣренія силы
тока основанные на законѣ, что дѣйствіе между элемен-
томъ тока и магнитною частицею (полюсомъ стрѣлки) пер-
пендикулярно проходящей чрезъ нихъ плоскости, пропор-
ціонально *напряженію* или *силѣ тока*, пропорціонально
магнитной массѣ частицы и обратно пропорціонально ква-
драту разстоянія частицы и элемента.

21) Токъ электричества отъ машины или лейденской бата-
рей дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку какъ и токъ гальвани-
ческій (опытъ требуетъ особыхъ предосторожностей—обло-
женія колпака гальванометра металлическими листами, от-
вода электричества въ большую проводящую массу, напри-
мѣръ въ газо-и водопроводныя трубы). При этомъ, какъ пока-
залъ Фарадей, „отклоняющая сила прямо пропорціональна *ко-
личеству* проходящаго электричества.“ Потому на основаніи
отклоненія стрѣлки можно заключать о количествѣ прошед-
шаго электричества, и такъ какъ дѣйствіе на стрѣлку самаго
малаго гальваническаго элемента превосходитъ дѣйствіе
огромной машины, то надо принять что количество гонимаго
гальваническимъ токомъ электричества чрезъ всякое сѣче-
ніе цѣпи огромно сравнительно съ количествомъ доставля-
емымъ машинами; но электричество отъ машины получается
съ большимъ напряженіемъ, отъ элемента—съ малымъ.

22) Вводя въ одну цѣпь гальванометръ и вольтаметръ, можно
доказать пропорціональность химическаго и магнитнаго дѣй-
ствій тока. Фарадей заключилъ: подобно магнитному, хими-
ческое дѣйствіе пропорціонально количеству проходящаго
электричества. Если въ одну цѣпь внести нѣсколько тѣлъ раз-
лагающихся токомъ (напримѣръ, пропустить токъ чрезъ нѣс-
колько разныхъ вольтаметровъ, сосуды съ мѣднымъ купоро-
сомъ, трубку съ хлористымъ оловомъ и т. под.), то количе-

ства тѣлъ выдѣляемыхъ на соотвѣтствующихъ электродахъ
относятся между собою какъ ихъ химическіе эквиваленты.

23) *Взаимное дѣйствіе токовъ* (электро-динамика) и *те-
орія магнетизма Ампера*. Амперъ, принявъ во вниманіе
что токъ помѣщаетъ стрѣлку перпендикулярно своему на-
правленію, заключилъ что направленіе стрѣлки на землѣ
отъ сѣвера къ югу зависитъ отъ тока огибающаго землю.
Не отъ токовъ ли и самое дѣйствіе магнита? Какое ихъ
должно быть ихъ направленіе? Спираль, представляющая
какъ бы одинъ слой магнита перпендикулярный оси, испы-
тываетъ дѣйствіе магнита, и ея стороны полярны. Вообще:
два *параллельные тока идущіе въ одномъ направленіи
притягиваются, идущіе въ разномъ отталкиваются*.
(Снаряды должны быть таковы чтобы проволока имѣла
подвижность безъ прерыванія проходящаго чрезъ нее тока).

24) *Соленоидъ* теоретическій есть сумма отдѣльныхъ токовъ
въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ его оси. Улиткообразная
проволока есть соленоидъ плюсъ прямолинейный токъ. Что-
бы дѣйствіе прямолинейнаго тока парализовать, проволока
загибается еще внутрь оборотовъ. Дѣйствительный магнитъ
не одинъ соленоидъ а сумма соленоидовъ или элементарныхъ
токовъ. Земля какъ магнитъ дѣйствуетъ на токи и соленоиды.

25) Вращательныя электрическія движенія бываютъ: тока
около полюса магнита, полюса магнита около тока (маг-
нитъ какъ поплавокъ); вѣтви тока отъ дѣйствія огибаю-
щаго ее тока (слѣдствіе закона дѣйствія токовъ подъ уг-
ломъ).

26) *Намагниченіе дѣйствіемъ тока* стали и желѣза (Ара-
го). Электро-магнитъ какъ самый сильный изъ искусствен-
ныхъ магнитовъ (кусокъ мягкаго желѣза обматанный изо-
лированною проволокой). Остаточный магнетизмъ.

27) Явленія діамагнетизма изучаются помощію сильныхъ
электро-магнитовъ. Діамагнитныя тѣла а) отталкиваются, b)
устанавливаются экваторіально (магнитныя же въ осевомъ
положеніи). Висмутъ наиболѣе діамагнитное тѣло. Пламя
свѣчи отталкивается магнитомъ.

V. Термо-электрическіе токи.

28) Въ мѣстѣ тѣснаго прикосновенія или спая висмута и
сюрьмы, при нагрѣваніи, возбуждатся токъ чрезъ это мѣсто
идущій отъ висмута къ сюрьмѣ. Вообще въ цѣпи изъ разныхъ
металловъ, если мѣста прикосновенія при разныхъ темпера-

турахъ—термоэлектрическій токъ. Нобили столбецъ приложенный Мелони къ изученію лучей теплоты (изъ на лочекъ висмута и сюрьмы). Токъ проходящій чрезъ мѣсто прикосновенія металловъ, въ направленіи какое имѣлъ бы термоэлектрическій токъ, если бы это мѣсто было нагрѣто—охлаждаетъ это мѣсто (опытъ Пельтье). Отсюда слѣдуетъ что самый термоэлектрическій токъ, циркулирующій въ цѣпи, поглащаетъ нѣсколько теплоты при нагрѣваемомъ слоѣ, перенося ее къ холодному.

VI. Индуктивные токи.

29) a) При *замыканіи* тока въ первичной проволокѣ—во вторичной возбуждается *обратный*, при *прерываніи* — *прямой* индуктивный токъ. b) При сближеніи съ первичною—обратный, при удаленіи—прямой; усиленіе индуктирующаго тока равнозначительно приближенію, ослабленіе—удаленію). c) При приближеніи (напримѣръ при вдвиганіи въ бобину) магнита, въ проволокѣ возбуждается токъ противоположнаго направленія съ Амперовыми токоми магнита, при удаленіи—одинаковаго. Индуктивныя явленія значительно усиливаются, если въ бобинахъ пучки проволокъ мягкаго желѣза (вслѣдствіе индуктирующаго дѣйствія намагниченія).

30) Законъ Ленца: индуктивный токъ всегда возбуждается такого направленія что его электро-динамическое дѣйствіе противодѣйствуетъ механическому вслѣдствіе котораго возбуждается. Токъ и магнитъ вслѣдствіе возбужденія индуктивныхъ токовъ труднѣе взаимно передвигать.

Земля какъ магнитъ возбуждаетъ индуктивные токи въ движущихся проводникахъ.

31) *Экстра-токъ* есть индуктивный токъ въ самой первичной проволокѣ. Если прервать токъ цѣпи въ которую введена длинная, дѣлающая много оборотовъ проволока (бобина, напримѣръ) то искра значительно сильнѣе чѣмъ когда въ цѣпи не было этой проволоки (хотя постоянный токъ былъ тогда сильнѣе).

32) *Магнетизмъ вращенія* (Араго). Магнитная стрѣлка скоро успокоивается, если качается въ сосѣдствѣ хорошо проводящей массы; мѣдный вращающійся дискъ увлекаетъ магнитную стрѣлку. Электро-магнитъ останавливаетъ кубъ повѣшенный на закрученной нити. Трудно двигать мѣдный дискъ между полюсами магнита (какъ бы отъ невидимаго тренія), и дискъ нагрѣвается (опытъ Фуко). Явленія объясняются индукціею.

33) ***Машина Румкорфа.*** Двѣ проволоки: толстая, первичная, оборотовъ 300, тонкая—индуктивная, отлично изолированная, множество оборотовъ, напримѣръ 30 000. Прерываніе особымъ электро-магнитнымъ прерывателемъ (иногда также по системѣ молоточка) чрезъ выниманіе металлическаго кончика погруженнаго въ ртуть. Возбуждаются два тока: обратный (при погруженіи кончика) и прямой (при выниманіи); чрезъ воздухъ проходитъ только прямой (токи эти съ равнымъ количествомъ электричества, но не равною продолжительностію и потому не равнымъ напряженіемъ). При первичной проволокѣ конденсаторъ (размагниченіе желѣза). Опыты: длинная искра; короткая энергическая искра, если къ индуктивной проволокѣ конденсаторъ или лейденскую банку; Гейслеровы трубки, заряженіе лейденской батареи (перерывъ на пути заряжающаго тока, чтобы заряжалъ только прямой токъ.

34) *Магнито-электрическія машины*: Кларка (бобины вращающіяся предъ полюсами магнита); Уильда (катушка Сименса; токъ возбуждаемый магнитомъ служитъ къ намагниченію огромнаго электромагнита, а этотъ уже возбуждаетъ индуктивный токъ); Ледда (электро-магнитъ остаточнымъ магнетизмомъ своего желѣза возбуждаетъ слабый вначалѣ токъ въ катушкѣ; токъ пропускается чрезъ проволоку электро-магнита, который такимъ образомъ самъ себя усиливаетъ; когда достигнетъ значительной силы возбуждаетъ сильный токъ въ индуктивной катушкѣ).

VII. Общая теорія тока.

35) *Сила* или *напряженіе* тока измѣряется его магнитнымъ дѣйствіемъ.

Сопротивленіе проводника прямо пропорціонально длинѣ проводника, обратно пропорціонально площади его сѣченія и электрической проводимости его матеріала. Сопротивленіе $r = \frac{l}{\kappa . \omega}$, гдѣ l длина ω сѣченіе, κ коэффиціентъ электропроводности. Для опредѣленія сопротивленій употребляется *реостатъ*.

Электродвижущая сила есть причина электрическаго напряженія при полюсахъ когда токъ не замкнутъ. Общая электродвижущая сила батареи есть сумма электродвижущихъ силъ его элементовъ. Законъ Ома: *сила тока прямо пропор-*

ціональна электродвижущей силѣ и обратно пропорціональна сопротивленію цѣпи. Формула: $i = \frac{E}{R+r}$, гдѣ E электродвижущая сила, R сопротивленіе элемента, r сопротивленіе соединительнаго проводника.

36) Въ случаѣ батареи $i = \frac{nE}{nR+r}$. Если r мало, число элементовъ не имѣетъ значенія; напротивъ очень важно увеличивать число элементовъ, если r велико.

Въ случаѣ нѣсколькихъ элементовъ соединенныхъ одноименными полюсами (цинки вмѣстѣ, угли вмѣстѣ), электродвижущая сила та же что въ одномъ элементѣ, сопротивленіе уменьшается (сопротивленіе банки большихъ размѣровъ менѣе сопротивленія малой банки). Будемъ имѣть

$$i = \frac{E}{\frac{R}{n}+r} = \frac{nE}{R+nr}.$$

VIII. Телеграфъ и гальванопластика.

37 Телеграфъ Морза основывается на возможности съ одной станціи мгновенно намагнитить кусокъ желѣза стоящій на другой станціи. Намагнитившееся желѣзо притягиваетъ коромысло съ якоремъ мягкаго желѣза на концѣ. Другой конецъ коромысла, повышаясь, приподнимаетъ до прикосновенія съ бумажною лентой кружокъ смачиваемый по окружности чернилами. Лента тянется механизмомъ приводимымъ въ движеніе грузомъ или пружиною. Между двумя станціями достаточно одной проволоки, другую замѣняетъ земля. Надземныя проволоки желѣзныя на столбахъ. Подводные канаты. Отчего въ нихъ замедляется движеніе электричества.

38) *Гальванопластика* основывается на разложеніи мѣднаго купороса; мѣдь осѣдаетъ на отрицательномъ электродѣ, каковымъ служитъ проводящая поверхность формы, и образуетъ слой имѣющій рельефный отпечатокъ углубленій формы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ УПРАЖНЕНІЙ.

1) Изъ чего мы заключаемъ что на камень дѣйствуетъ *сила тя-*
жести? Что такое вѣсъ? Есть ли вѣсъ такое свойство безъ ко-
тораго нельзя себѣ представить физическаго тѣла? Есть ли вѣсъ
даннаго тѣла постоянная величина? Различіе между вѣсомъ и
массою? Еслибы на лунѣ выбросить ядро изъ жерла пушки дѣй-
ствіемъ того же количества пороха, то будетъ ли скорость,
пріобрѣтенная ядромъ, одинакова какъ на землѣ, гдѣ вѣсъ ядра
въ шесть разъ больше? Вообразимъ тѣло не имѣющимъ вѣса;
какія свойства въ немъ сохранятся если оно твердое, если
жидкое, если газообразное?

2) Какое заключеніе слѣдуетъ изъ того что на всѣхъ мѣстахъ земной поверхности направленіе отвѣса перпендикулярно къ поверхности воды?

3) Какое положеніе долженъ имѣть центръ тяжести тѣла чтобы оно осталось въ равновѣсіи? Какъ на черенкѣ ножа положеннаго лезвіемъ на краѣ стола (причемъ черенокъ даже перевѣшиваетъ) повѣсить бутылку, такъ чтобъ она не упала и удержала самый ножъ?

4) Можетъ ли быть устойчивое равновѣсіе когда центръ тяжести выше точки опоры?

Центръ тяжести человѣческаго тѣла. Центръ тяжести человѣка несущаго грузъ на спинѣ или въ рукѣ.

5) Какъ малою силою произвести большое давленіе: а) помощію рычага, б) помощію жидкости.

6) Выразить формулою что двѣ перемѣнныя величины прямо
пропорціональны между собою, что двѣ величины обратно про-
порціональны (помощію пропорціи и помощію постояннаго
коэффиціента). Какъ выразить что одна величина прямо или об-
ратно пропорціональна квадрату другой? Какую пропорціональ-
ность выражаютъ формулы:

$$x=ay;\ xy=a;\ x=ay^2.$$

Что означаетъ коэффиціентъ a? Что выражаютъ формулы:

$$P:P'=L':L;\ P:P'=D:D',\ e=at^2;\ PV=P'V'=P'V''...;$$
$$N^2:N'^2=L':L?$$

7) Что значитъ работать въ механическомъ смыслѣ? Если ло-

щадь по горизонтальному направленію передвигаетъ на протяженіи n метровъ p килограммовъ, то можно ли сказать что произведенная работа будетъ np килограмметровъ? Какое сопротивленіе побѣждается въ этомъ случаѣ?

Что такое двигатель и для чего служатъ машины? Основное правило преобразованія работы: что̀ выигрывается въ силѣ, теряется въ пройденномъ пути. Помощію малой силы можно, при посредствѣ машины, побѣдить большое препятствіе, но подъ какимъ условіемъ? Невозможность perpetuum mobile.

8) Что значитъ выраженіе: плотность мѣди равняется 8,79? При какой температурѣ предполагается мѣдь и при какой вода? Что такое граммъ и килограммъ? Формула $P=VD$ въ случаѣ метрической системы. Въ какихъ единицахъ выражаются P и V? Какъ опредѣлить вмѣстимость сосуда помощію взвѣшиванія наполняющей его ртути?

9) Какъ безъ помощи воздушнаго насоса доказать что тѣла въ воздухѣ падаютъ съ неодинаковою скоростію вслѣдствіе его сопротивленія? Почему сопротивленіе воздуха легкія тѣла заставляетъ падать медленно, а скорость паденія тяжелыхъ мало уменьшаетъ (сравненіе съ вѣтромъ)? Какимъ разсужденіемъ Галилей показывалъ нелѣпость утвержденія будто тѣло которое вдесятеро тяжелѣе другаго падаетъ вдесятеро скорѣе? Доказательство помощію маятника что тяжелыя и легкія тѣла падаютъ съ одинаковое скоростью, если не вліяетъ сопротивленіе воздуха. Какое заключеніе слѣдуетъ изъ того что тѣло падающее съ большей высоты сильнѣе ударяетъ о землю, чѣмъ тѣло падающее съ меньшей высоты?

10) Необходимо ли дѣйствіе силы для того чтобы тѣло сохранило движеніе? Сила производитъ ускореніе. Указать случаи когда тѣло движется равномѣрно, несмотря на постоянное дѣйствіе силы. Сила, дѣйствуя по направленію движенія, или ускоряетъ тѣло, или уравновѣшиваетъ препятствіе, производя работу. Что производитъ сила когда дѣйствуетъ не по направленію движенія?

11) Криволинейное движеніе можетъ происходить или отъ дѣйствія силы, или отъ препятствія. Какъ называется сила натягивающая нить на которой привязано вращающееся тѣло? Какъ пойдетъ тѣло, если нить оборвется? Можно ли сказать что оно пойдетъ повинуясь центробѣжной силѣ? Доказать что въ случаѣ если препятствіе заставляетъ тѣло идти равномѣрно по кру-

гу, дѣйствіе оказываемое тѣломъ направлено по радіусу (центробѣжная сила). Пока движеніе ускоряется или земедляется, кромѣ центробѣжной силы существуетъ боковое давленіе

Повинуясь какому дѣйствію, планеты обращаются вокругъ солнца?

12) Почему въ то время какъ всѣ предметы уносятся съ быстротою вращеніемъ земли, птица не отставая перелетаетъ съ мѣста на мѣсто? Движенія внутри корабля, вагона? Не противорѣчитъ ли второму закону движенія то обстоятельство что дымъ идущаго локомотива не подымается прямымъ столбомъ, какъ дыма стоящаго? Какъ волтижеръ на лошади перепрыгиваетъ чрезъ канатъ? Какъ направляютъ лодку на рѣкѣ чтобы переѣхать съ одного берега на другой? Движенія на землѣ происходятъ ли вполнѣ такъ какъ происходили бы еслибы земля была въ покоѣ. Участіе вращенія земли въ происхожденіи пассатныхъ вѣтровъ.

13) Когда магнитъ притягиваетъ кусокъ желѣза, съ какою силой кусокъ желѣза въ свою очередь тянетъ магнитъ? Какой третій законъ движенія? Примѣры.

14) Въ чемъ состоитъ исохронность маятника? Есть ли, кромѣ качаній маятника, другія исохронныя качанія? Зависимость числа качаній маятника отъ его длины. Гдѣ маятникъ данной длины дѣлаетъ болѣе качаній въ опредѣленное время, подъ экваторомъ или ближе къ полюсамъ? Гдѣ болѣе длина секундна-го маятника?

Какой двигатель въ часахъ? Какую роль въ часахъ играетъ маятникъ? Почему часы останавливаются когда не заведены?

15) Какъ прилагается теорія рычага къ безмѣну, къ устройству руки? Правило рычага въ приложеніи къ блоку неподвижному и подвижному; въ приложеніи къ вороту. Размѣтить безмѣнъ для одной, двухъ, трехъ... единицъ вѣса (предполагая что длина, вѣсъ самаго безмѣна и положеніе его центра тяжести извѣстны).

16) Какъ помощію машины Атвуда оправдать что, при той же массѣ, силы относятся какъ ускоренія и, при той же силѣ, ускоренія обратно пропорціональны массамъ. Какъ оправдать тѣже положенія помощію наклонной плоскости?

17) Въ извѣстномъ фантастическомъ разказѣ Жюля Верна о ядрѣ съ наблюдателями брошенномъ съ земли на луну, разказы-

вается, что когда ядро приблизилось къ лунѣ на такое разстояніе что притяженіе луны сдѣлалось равнымъ притяженію земли, всѣ предметы внутри ядра потеряли тяжесть, и всякій предметъ, не падая, оставался въ воздухѣ гдѣ помѣщенъ. Показать что такое явленіе должно бы было происходить не въ этой только, нейтральной точкѣ, но на всемъ протяженіи пути, и что движеніе брошеннаго ядра нельзя сравнивать съ движеніемъ, напримѣръ, воздушнаго шара подымающагося вверхъ: каждая часть ядра летитъ не потому что увлекается другими, а по силѣ верженія, съ тою же скоростію какъ всѣ другія и не имѣетъ причины отъ нихъ отставать.

18) Въ чемъ отличіе жидкихъ тѣлъ отъ твердыхъ и газообразныхъ? Есть ли взаимное притяженіе частицъ въ жидкой массѣ? Какого рода взаимное дѣйствіе бываетъ между частицами газообразнаго тѣла? Какое значеніе имѣетъ наименованіе *капельно-жидкихъ* тѣлъ въ отличіе отъ *упругихъ* жидкихъ тѣлъ? Почему жидкости называютъ несжимаемыми? Отъ какой причины жидкость въ сосудѣ давитъ на дно и стѣнки? Какая разница между давленіемъ столба твердаго тѣла и столба жидкости? Могла ли бы жидкая масса не подверженная дѣйствію тяжести принять всякую форму? Какое направленіе имѣетъ вытекающая изъ сосуда струя? Съ чѣмъ можно сравнивать массу вытекающей жидкости? Какимъ условіемъ опредѣляется видъ свободной поверхности жидкости? Какъ практически сдѣлать вѣрную горизонтальную плоскость? Какъ производится нивеллированіе? Какія жидкости при стѣнкахъ сосуда стоятъ выше и какія ниже уровня въ сосудѣ?

19) До какой высоты бьетъ фонтанъ? Можно ли сдѣлать фонтанъ который билъ бы выше уровня резервуара? Происхожденіе рѣкъ, подземныхъ вмѣстилищъ воды, артезіанскихъ колодцевъ? Всегда ли въ сообщающихся трубкахъ жидкость стоитъ на одномъ уровнѣ? Почему происходитъ просачиваніе жидкости въ сахарѣ, землѣ и т. под.? Какъ сдѣлать фитиль изъ стекла? Какъ помощію пряди нитокъ заставить жидкость переходить изъ одного сосуда въ другой? Законъ равновѣсія разнородныхъ жидкостей въ сообщающихся сосудахъ. Отъ какого уровня считаются высоты уравновѣшивающихся колоннъ? Какимъ образомъ случай равновѣсія жидкости въ сообщающихся сосудахъ ведетъ къ заключенію что жидкость давитъ сообразно своей

высотѣ, но независимо отъ своего количества? Какъ измѣрить давленіе жидкости на дно сосуда? Если поставить сосудъ на чашку вѣсовъ, то давленіе жидкости на эту чашку можно ли разсматривать какъ давленіе на дно? Въ какомъ случаѣ жидкость производитъ давленіе на дно равное своему вѣсу, когда большее, когда меньшее? Можно ли стаканомъ воды произвести давленіе равное нѣсколькимъ пудамъ? Взвѣшивая на вѣсахъ данное количество жидкости не должны ли мы получить различный вѣсъ смотря по формѣ сосуда въ какомъ заключена жидкость? Реакція истекающей струи. Объяснить полетъ ракеты давленіе ружья на плечо стрѣляющаго, принципъ машинъ основанныхъ на истеченіи жидкости.

20) Какое главное механическое начало въ ученіи о жидкостяхъ? Начало это не зависитъ отъ того имѣетъ жидкость вѣсъ или нѣтъ. Какъ сдѣлать такой опытъ для поясненія начала распространенія давленія, который не зависѣлъ бы отъ того какой вѣсъ имѣетъ жидкость и вообще имѣетъ ли она вѣсъ? Жидкость какъ машина преобразующая работу. Приложеніе къ случаю жидкости общаго начала машинъ: „что выигрывается въ силѣ теряется въ пройденномъ пути“. Въ чемъ состояла главная трудность при осуществленіи Паскалевой идеи о гидравлическомъ прессѣ?

21) Вообразимъ внутри жидкой массы нѣкоторую часть; эта часть имѣетъ вѣсъ, частицы жидкости удобоподвижны: отчего же она не падаетъ внизъ? Что произошло бы еслибъ она имѣла плотность больше или меньше плотности окружающей жидкости? Давленіе жидкости на погруженное тѣло: снизу сверху, съ боковъ. Паскалевъ выводъ закона Архимеда. Изъ того что тѣло теряетъ часть своего вѣса будучи погружено въ жидкости, не слѣдуетъ ли что если на чашкѣ вѣсовъ стоитъ сосудъ съ водою и лежитъ нѣкоторое тѣло, то уравновѣшивающій чашку грузъ долженъ быть иной если тѣло погрузить въ воду? Куда дѣвается потерянный тѣломъ вѣсъ? Приложеніе къ закону Архимеда начала: „дѣйствіе равно противодѣйствію“. Условіе чтобы тѣло плавало на водѣ. Пояснить правило Архимеда что въ случаѣ плавающаго тѣла „погруженный объемъ во столько разъ менѣе всего объема тѣла, во сколько вѣсъ тѣла менѣе вѣса равнаго ему объема воды“. Какую форму должно дать куску металла чтобъ онъ плавалъ на водѣ? Можетъ ли иголка плавать

на водѣ? Бадью колодца легко тянуть пока она въ водѣ: какое заключеніе изъ этого и подобныхъ опытовъ было выводимо многими учеными въ эпоху Паскаля и мѣшало принятію ученія о давленіи атмосферы? Какъ выносятъ живыя существа давленіе водъ на большихъ глубинахъ?

22) Объяснить явленія сопровождающія наливаніе воды въ сосудъ, открытый внизу и поставленный на стеклянную доску пришлифованную къ нижнему отверстію и представляющую собою отдѣльное (§ 51) горизонтальное дно сосуда. (Въ случаѣ если сосудъ книзу уже—стѣнки прижимаются ко дну; если шире книзу—вода стремится приподнять стѣнки и протекаетъ у дна).

23) Потеря вѣса въ грязной водѣ (вообще въ жидкости со взвѣшенными тѣлами) значительнѣе ли чѣмъ въ чистой?

24) Составить формулу для опредѣленія плотности жидкости помощію ареометра Фаренгейта. Составить формулу для опредѣленія плотности твердаго тѣла помощію ареометра Никольсона.

25) Почему, когда жидкость вытекаетъ изъ отверстія въ стѣнкѣ, избытокъ давленія на другую стѣнку болѣе вѣса колонны воды соотвѣтствующей отверстію. Есть ли реакція вытекающей струи въ случаѣ если истеченіе происходитъ изъ отверстія въ днѣ сосуда открытаго сверху?

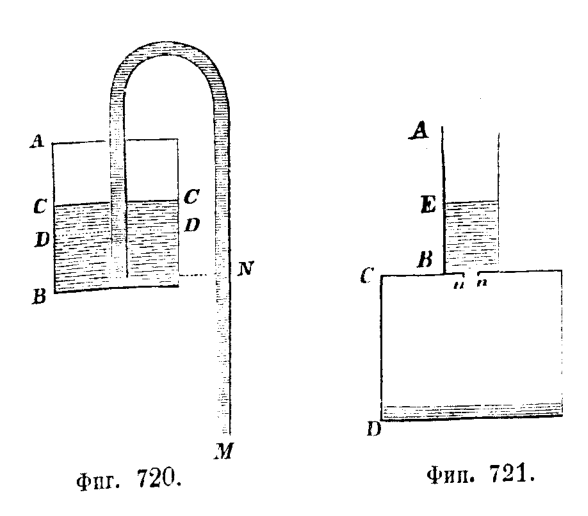
26) Какъ объясняются опыты съ поддувальнымъ мѣхомъ, насосомъ, опрокинутою отверстіемъ въ воду бутылкой и т. под.? Какъ объясняется опытъ Торричелли? Можно ли считать пространство надъ ртутью въ трубкѣ Торричелли абсолютно пустымъ? Чтò измѣряетъ барометръ? Точно ли сказать что онъ измѣряетъ вѣсъ воздуха? Отчего зависѣла бы высота ртути въ барометрѣ, еслибъ этотъ барометръ былъ помѣщенъ въ замкнутомъ пространствѣ наполненномъ какимъ-либо газомъ? Зависѣла ли бы она отъ вѣса этого газа?

27) Отчего происходитъ давленіе воздуха въ атмосферѣ? Случаи: a) когда барометръ находится въ свободной атмосферѣ, b) когда онъ находится въ замкнутомъ пространствѣ сохраняющемъ впрочемъ сообщеніе съ атмосферой (напримѣръ въ комнатѣ), c) въ пространствѣ замкнутомъ въ строгомъ смыслѣ? Атмосфера какъ слой облекающій землю. Участвуетъ ли она въ обращеніи земли? Предѣлъ атмосферы, необходимость предѣла выводимая изъ понятія о центробѣжной силѣ. Если при той же температурѣ подъ экваторомъ и у полюсовъ барометръ

показываетъ одинаковую высоту, то должно ли заключить что давленіе атмосферы въ этихъ двухъ случаяхъ строго одинаково? Давленіе 760 миллиметровъ ртути, взятой при той же температурѣ, въ Москвѣ и въ Парижѣ одно ли и то же?

29) Приложеніе общаго закона распространенія давленія въ жидкихъ тѣлахъ къ давленію атмосферы. Въ чемъ разница въ передачѣ давленія чрезъ жидкія тѣла несжимаемыя какъ вода и упругія какъ воздухъ? Сравненіе барометрической трубки и окружающей атмосферы съ сообщающимися сосудами наполненными жидкостями разной плотности.

30) Въ цилиндрическій закрытый сосудъ (фиг. 720) налита вода и погруженъ до дна сифонъ. $AB=h$; $AC=r$; CC есть уровень воды; упругость воздуха, находящагося въ сосудѣ, пусть равняется H. Когда прекратится истеченіе, и на какомъ разстояніи $AD=x$ будетъ находиться уровень DD остановившейся жидкости, если давленіе внѣшняго воздуха есть H' и длина $NM=d$?

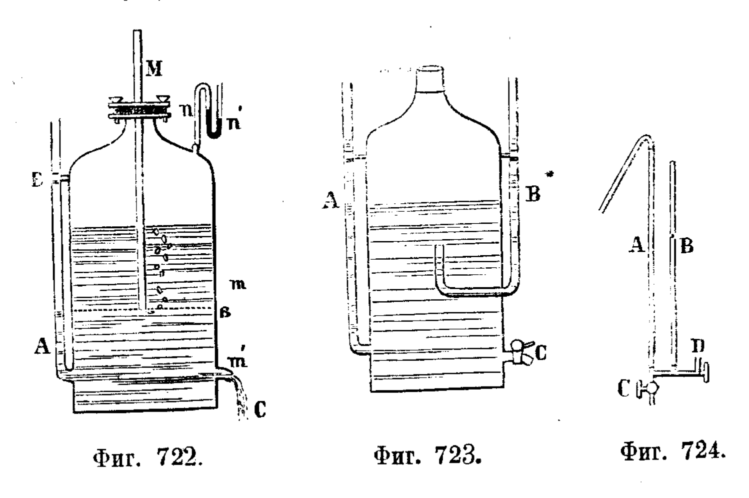


Фиг. 720. Фиг. 721.

31) Цилиндрическая стеклянная трубка AB, наполненная ртутью, открывается небольшимъ отверстіемъ въ сосудъ CD (фиг. 721) съ воздухомъ при атмосферномъ давленіи H. Если трубка не закрыта сверху, то ртуть будетъ течь въ широкій сосудъ. При какой высотѣ ртути $EB=x$ прекратится истеченіе? $AB=l$,

$CD = L$, основаніе трубки $AB = m$ квадр. единицъ; основаніе сосуда $CD = n$ квадр. единицъ.

32) Какъ воспользовать снарядомъ изображеннымъ на фиг. 722 для разъясненія явленій представляемыхъ сосудомъ Маріотта? (Прибавленная сбоку трубка весьма наглядно показывается что теорія приводится къ случаю открытаго сосуда въ которомъ уровень производящаго истеченіе столба опредѣляется уровнемъ жидкости въ открытыхъ каналахъ. Манометръ указываетъ въ какомъ состояніи находится воздухъ въ закрытой части сосуда).



Фиг. 722. Фиг. 723. Фиг. 724.

33) Какія явленія представитъ истеченіе жидкости изъ сосуда устроеннаго какъ изображено на фиг. 723? Приложить снарядъ изображенный на фиг. 724 къ разъясненію теоріи сифона. (Открытый каналъ B служитъ къ показанію что жидкость при отверстіи давитъ съ силою столба высота котораго равняется разстоянію отверстія отъ уровня жидкости въ сосудѣ. Изъ отверстія D можно произвести струю фонтана. Почему въ открытомъ каналѣ уровня понижается какъ скоро начинается истеченіе изъ отверстія C?)

34) Опыты Паскаля съ двойнымъ барометромъ и со внесеніемъ барометра на гору. Если барометрическую трубку съ колонной ртути привѣсить къ чашкѣ вѣсовъ, не вынимая отверстія изъ ртути, то какимъ вѣсомъ будетъ обременена эта чашка? Отчего жидкость выливается изъ опрокинутаго сосуда?

35) Можно ли сифономъ перелить воду черезъ гору? Можно ли сказать что давленіе *при отверстіи* одного колѣна сифона есть $H-h$, другаго $H-h'$? Гдѣ надо сравнивать давленія для объясненія теоріи сифона? Какъ Паскаль произвелъ переливаніе ртути подъ водой сифономъ (§ 79, фиг. 111) дѣйствовавшимъ вслѣдствіе давленія воды (опытъ въ текстѣ описанъ не полно, опущено что трубка должна быть длинною)? Равновѣсіе жидкости въ открытой трубкѣ сообщающейся съ закрытымъ сосудомъ, въ которомъ поверхъ жидкости находится газъ. Приложеніе къ объясненію Маріоттова сосуда. Какіе еще способы произвести постоянное истеченіе?

36) Почему нижнее отверстіе ливера должно быть малое? Теорія перемежающагося фонтана приводится къ теоріи ливера. Когда прекратится истеченіе въ фонтанѣ этого рода, до какой высоты поднимется жидкость въ трубкѣ? Героновъ фонтанъ. Какъ велико сжатіе воздуха въ верхнемъ резервуарѣ?

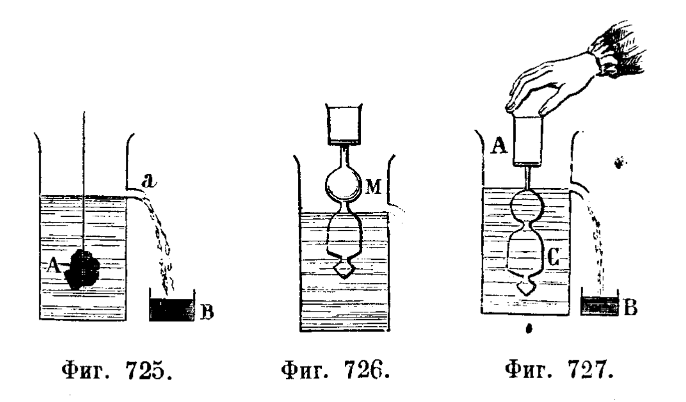
37) Почему въ опытѣ Отто фонъ-Герике съ сосудомъ наполненнымъ водой, изъ котораго насосомъ выкачивали воду, было трудно качать? Что собственно выкачивалъ Герике въ своихъ первыхъ опытахъ? Имѣемъ шаръ изъ непроницаемой, но растяжимой ткани, наполненной водородомъ. Какъ велико будетъ давленіе воздуха на него снизу вверхъ? Какъ велика будетъ упругость водорода? Если бы внутри этого шара былъ барометръ, то мы не замѣтили бы разницы въ высотѣ его съ тою какую онъ имѣетъ находясь въ воздухѣ внѣ шара; слѣдовательно давленіе водорода то же что и давленіе воздуха; не противорѣчитъ ли это тому что сказано объ избыткѣ давленія снизу вверхъ? Что произойдетъ съ шаромъ когда онъ будетъ повышаться въ атмосферѣ? Значеніе предохранительнаго клапана на аэростатѣ; значеніе балласта.

38) Какъ воспользоваться снарядомъ изображеннымъ на фиг. 725 для опредѣленія плотности тѣлъ?

39) Какъ оправдать законъ Архимеда помощію снаряда изображеннаго на фиг. 726 и 727? (Когда снарядъ плаваетъ, шаръ M находится поверхъ воды; чтобы погрузить, надо оказать давленіе сверху, напримѣръ рукою; давленіе это можно замѣнить

вѣсомъ вытѣсненной воды собранной въ сосуди B и налитой въ верхній сосудъ снаряда).

40) Съ какою скоростію распространяются въ разныя стороны звуковыя колебанія отъ звучащаго тѣла какъ центра? Одина-



Фиг. 725. Фиг. 726. Фиг. 727.

ковы ли волны посылаемыя въ разныя стороны (намрим. волны отъ колокола, отъ струны). Почему при возвращеніи тѣла произведшаго передъ собою сжатую волну, сжатіе переходитъ въ разрѣженіе и не въ нормальное состояніе какъ бываетъ, если двинувшееся впередъ тѣло останавливается. Почему, если воздухъ въ какомъ нибудь мѣстѣ трубы сжатъ и расширяется о посылаетъ по сжатой волнѣ и впередъ и назадъ, тогда какъ сжатая волна идущая въ трубѣ отъ звучащаго тѣла производитъ сжатіе только передъ собою, оставляя за собою воздухъ въ нормальномъ состояніи?

41) Чѣмъ разнятся два звука образуемые равнымъ числомъ волнъ, если волны одного изъ нихъ не одинаковы съ волнами другаго? Въ чемъ можетъ состоять разница волнъ? Что значитъ полное колебаніе и полная волна въ случаѣ струны, діапазона, сирены? Какъ можно привесть въ движеніе струну? Въ чемъ дѣйствіе смычка на струну?

42) Почему діапазонъ почти не слышенъ, если не приложенъ къ твердому тѣлу? Какъ передать звукъ чрезь нитку, вообще чрезъ твердыя тѣла?

43) Какому импульсу и вообще движенію соотвѣтствуетъ простой тонъ. Отчего ухо ощущаетъ только простые тоны, а сложный тонъ разлагаетъ на его слагающіе простые? Чѣмъ объясняется консонансъ и диссонансъ звуковъ? Въ чемъ различіе звуковъ если одну и туже ноту пѣть на разныя гласныя a, e, u,..?.

44) Длина волны соотвѣтствующая данному тону (данному числу колебаній) есть ли величина постоянная?

45) Отчего громъ дѣлаетъ раскаты? Какъ судить о разстояніи по наблюденію времени между появленіемъ свѣта и ощущеніемъ звука?

46) Какъ сообщается теплота термометру отъ окружающихъ его тѣлъ? Передача теплоты отъ слоя къ слою не одинаковой температуры составляетъ явленіе теплопроводности; можетъ ли быть передача отъ слоя къ слою равной температуры (лучистое распространеніе чрезъ теплопрозрачныя тѣла)? Что такое температура пространства? Можно ли понимать ее какъ температуру эѳира?

47) Въ чемъ доказательства собственной внутренней теплоты земли? Нельзя ли объяснить ее поглощенною солнечною теплотою?

48) При одинаковой ли температурѣ обнаружится точка росы въ случаѣ если охлаждаемая масса влажнаго воздуха остается въ сообщенія съ окружающимъ воздухомъ и въ случаѣ если она отъ него вполнѣ отдѣлена?

49) Значеніе двойныхъ рамъ. Значеніе парниковъ. Какъ печь нагрѣваетъ комнату?

50) Можно ли соединеніемъ лучей, вышедшихъ изъ какого-либо источника произвести температуру выше температуры самого источника; другими словами, можно ли повысить температуру луча? Подобныя соображенія относительно яркости изображенія сравнительно съ яркостію предмета. Возможно ли (теоретически) помощію, напримѣръ, Бюффоновской комбинаціи зеркалъ произвольно громадныхъ размѣровъ, произвести въ пространствѣ изображеніе солнца ярче самого солнца?

51) Правильно ли сказать что вслѣдствіе скорости свѣта (§ 282) мы видимъ солнце на сводѣ небесномъ на томъ мѣстѣ какое оно занимало 8 м. 13 с. тому назадъ и что когда усматриваемъ его восходящимъ то уже прошло 8 м. 13 с. послѣ его дѣйствительнаго восхожденія? Изъ ученія о скорости свѣта можно вывесть доказательство что вращается земля, а не сводъ небесный около земли.

52) Сдѣлавъ въ картѣ булавкою двѣ дирочки на разстояніи болѣе близкомъ чѣмъ діаметръ зрачка, станемъ смотрѣть чрезъ эти отверстія на поставленную на нѣкоторомъ разстояніи булавку или двѣ булавки помѣщенныя одна за другой. Какія замѣтимъ явленія (объясняющіяся проникновеніемъ въ глазъ двухъ узкихъ пучковъ лучей; опытъ Шейнера)?

53) Ахроматичны ли изображенія получаемыя чрезъ полное внутреннее отраженіе въ призмѣ?

54) Разобрать вопросъ о томъ какъ мы видимъ предметы въ прямомъ видѣ, хотя изображеніе на ретинѣ верхъ ногами. Если бы поставить предъ глазами два зеркала, образущія уголъ зеркальныя стороны котораго находятся на внѣшней его сторонѣ, и поставить притомъ такъ чтобы правый глазъ видѣлъ въ стоящемъ передъ нимъ зеркалѣ предметы правой стороны, вслѣдствіе отраженія, на лѣвой сторонѣ, лѣвый—на правой (самые предметы предполагаемъ недоступными, благодаря діафрагмамъ, прямому наблюденію); то надо думать, что поносивъ на головѣ такой аппаратъ нѣкоторое время, наблюдатель утратилъ бы сознаніе того что правая сторона представляется ему на лѣво и наоборотъ и видѣлъ бы предметы какъ они есть, то-есть безошибочно опредѣлялъ бы положеніе ихъ въ пространствѣ.

55) Задачи § 311 на стр. 428, а именно 5-я, 7-я, 9-я, 11-я, 12-я, 13-я, 14-я могутъ быть отнесены въ разрядъ вопросовъ для упражненія.

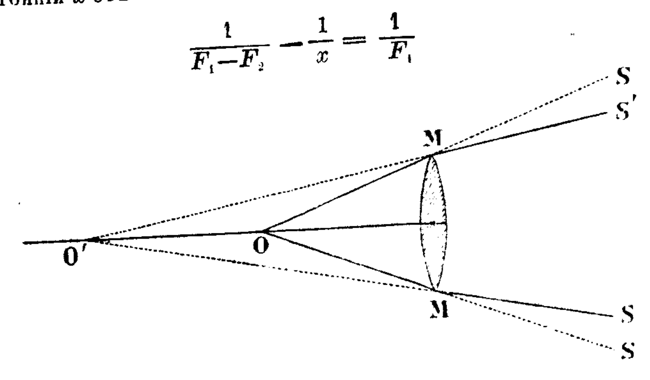
56) Опредѣлить поле зрѣнія и увеличеніе при наблюденіи чрезъ собирающее и разсѣвающее стекла при разныхъ разстояніяхъ глаза.

57) Развить методу указанную въ § 274, для опредѣленія фокуснаго разстоянія разсѣвающаго стекла.

58) Разборъ вопросовъ о зрѣніи вооруженнымъ глазомъ можно основать на томъ началѣ, что если бы лучи шли изъ глаза какъ свѣтящейся точки, то они чрезъ инструментъ въ противоположномъ направленіи совершили бы тотъ же путь какимъ достигли глаза; то-есть лучи зрѣнія можно разсматривать какъ лучи свѣта. Въ случаѣ стекла лучи зрѣнія достигаютъ предмета такъ какъ если бы выходили не изъ глаза, а изъ изображенія глаза доставляемаго стекломъ. Если изображеніе глаза дѣйствительное, то лучи зрѣнія перекрещиваются, предметы кажутся верхъ ногами.

Въ случаѣ Галилеевой трубки, если глазъ въ O (фиг. 728) при окулярѣ, слѣд. на разстояніи $F_1—F_2$ отъ объектива, то лучи зрѣнія направлены такъ какъ если бы былъ онъ въ O' на разстояніи x отъ объектива. Величина x найдется изъ уравненія

$$\frac{1}{F_1-F_2}-\frac{1}{x}=\frac{1}{F_1}$$



Фиг. 728.

откуда $x=\frac{F_1(F_1-F_2)}{F_2}$. Предѣлы обозрѣваемаго пространства опредѣляются угломъ $MO'M$ мѣра котораго есть $\frac{D}{x}$, гдѣ D діаметръ MM объектива. Величина поля зрѣнія есть слѣдовательно $\frac{360}{2\pi}\cdot\frac{D}{x}=\frac{360}{2\pi}\cdot\frac{D}{F_1-F_2}\cdot\frac{F_2}{F_1}$. Если бы MM было простое отверстіе, мы увидѣли бы чрезъ него часть горизонта опредѣляемую угломъ котораго мѣра есть $\frac{D}{F_1-F_2}$. Чрезъ трубу видимъ часть горизонта опредѣляемую угломъ котораго мѣра есть $\frac{D}{x}$. Отношеніе $\frac{D}{F_1-F_2}:\frac{D}{x}$ есть увеличеніе G. Слѣдоват. $G=\frac{x}{F_1-F_2}=\frac{F_1}{F_2}$.

59) Для опредѣленія увеличенія Галилеевой трубки можно воспользоваться такимъ пріемомъ. Предъ окуляромъ поставить собирающее стекло и принять на экранъ изображеніе двухъ свѣчей (стекло замѣняетъ глазъ смотрящій чрезъ трубку, экранъ—ретину). Удаливъ трубку, примемъ новое изображеніе

двухъ свѣчей на экранѣ (это какъ бы наблюденіе простымъ глазомъ). Измѣривъ разстояніе между собою двухъ изображеній свѣчъ пролагаемыхъ на экранъ въ первомъ и второмъ случаѣ и принявъ въ соображеніе разстоянія экрана отъ стекла, легко найти увеличеніе.

60) О какихъ открытіяхъ и изслѣдованіяхъ Архимеда, Галилея, Ньютона, Франклина, Вольты, Меллони *) говорится въ курсѣ?

61) Какими размышленіями приведенъ былъ Амперъ къ составленію электрической теоріи магнита? Труды Фарадея по части эликтричества. Какія попытки предшествовали открытію индуктивныхъ токовъ?

62) Если между наэлектризованнымъ тѣломъ и бузиннымъ шарикомъ на нити поставить металлическую доску неизолированную, то она дѣйствуетъ какъ экранъ пресѣкающій электрическое вліяніе; но если доска изолирована, то дѣйствіе электризованнаго тѣла на шарикъ усиливается. Объяснить эти явленія. Дѣйствіе мягкаго желѣза какъ экрана при явленіяхъ намагничиванія.

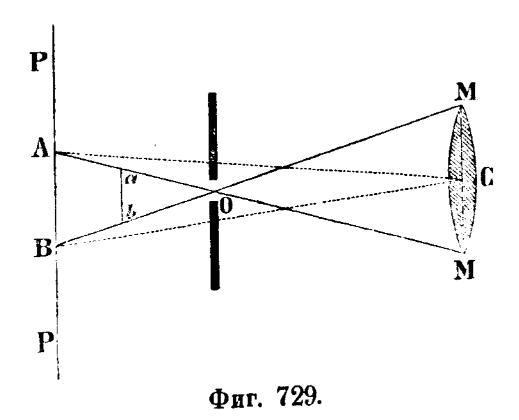
63) Показать главные начальные факты магнетизма помощію фигуръ образуемыхъ опилками (линій магнитной силы).

64) Какъ намотать проволоку гальванометра съ астатическими стрѣлками такъ чтобы не только нижняя, но и верхняя была внутри оборотовъ проволоки (отдѣльные обороты вокругъ нижней и вокругъ верхней въ разномъ направленіи)?

Дополненіе къ теоріи Галилеевой трубки. Теорію Галилеевой трубки можно развить на слѣдующихъ основаніяхъ. Пусть (фиг. 729) *MM* есть объективъ, *PP* его фокальная плоскость на которой рисуется изображеніе отдаленныхъ предметовъ. Если между объективомъ и этою плоскостію помѣстить діафрагму съ малымъ отверстіемъ *O*, то изображеніе на фокальной плоскости сохранится (можетъ быть принято бли-

*) Краткія біографическія свѣдѣнія помѣщенныя въ курсѣ въ подстрочныхъ примѣчаніяхъ частію заимствованы у Литрова частію собраны изъ другихъ источниковъ.

же и дальше) съ тою разницею что каждая точка его будетъ образовываться не чрезъ соединеніе лучей коническаго пучка,

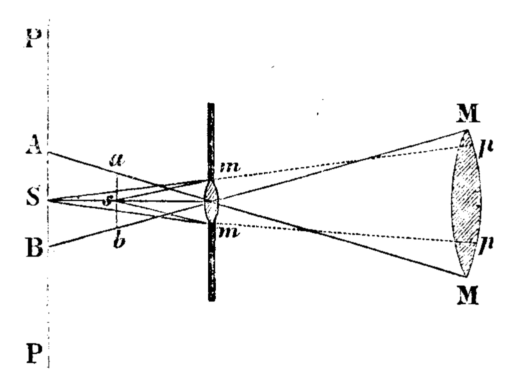


Фиг. 729.

и имѣющаго основаніемъ цѣлый объективъ, а лишь тою частію этого пучка какая проникаетъ чрезъ малое отверстіе и можетъ разсматриваться какъ одинъ лучъ. Предѣлъ изображенія означается линіями *MA* и *MB*. Вмѣсто діафрагмы съ отверстіемъ вообразимъ глазъ наблюдателя. Явленіе въ главныхъ чертахъ останется тоже, ибо глазъ можно разсматривать какъ темную камеру, на задней стѣнкѣ которой (то-есть на ретинѣ) рисуется изображеніе образуемое ея переднимъ отверстіемъ. Но изображеніе на ретинѣ будетъ не ясно, ибо пропускающее лучи отверстіе (зрачекъ) велико. Явленіе происходитъ такъ какъ если бы нѣкоторое стекло было вставлено въ расширенное отверстіе *mm* діафрагмы (фиг 730), но экранъ (ретина) стоялъ не въ *ab* гдѣ получается отчетливое изображеніе, но ближе къ стеклу. Чтобы изображеніе попало на ретину надлежитъ уменьшить преломляющее дѣйствіе глаза. Этого достигаютъ помѣщая предъ глазомъ разсѣвающій окуляръ. Если предположимъ глазъ приспособленнымъ къ отдаленному разстоянію, то разсѣвающее стекло надлежитъ поставить отъ объектива на разстояніи $F_1 - F_2$, дабы каждый входящій въ глазъ пучокъ состоялъ изъ параллельныхъ между собою лучей.

И такъ ретина есть плоскость принимающая изображеніе *ab*. Такъ какъ изображеніе это обратное (какъ всѣ изображенія на

ретинѣ при зрѣніи простымъ глазомъ), то предметъ представляет-ся въ прямомъ видѣ. Уголъ зрѣнія подъ какимъ представляет-



Фиг. 730.

ся рисующаяся въ ab часть видимаго круга опредѣляется линіями, проведенными отъ центра (фиг. 730) воображаемаго стекла mm къ точкамъ a и b, или что все равно, къ точкамъ A и B, и имѣетъ мѣрою $\frac{AB}{F_2}$. Уголъ зрѣнія подъ какимъ та же часть обозрѣваемаго пространства представилась бы простому глазу (воображая его въ центрѣ объектива) опредѣляется линіями проведенными (фиг. 729) отъ центра объектива C къ A и B и имѣетъ мѣрою $\frac{AB}{F_1}$. Отношеніе этихъ угловъ и есть увеличеніе

$$G=\frac{F_1}{F_2}.$$

Такъ какъ чрезъ трубу обозрѣвается лишь та часть внѣшняго круга изображеніе которой въ фокальной плоскости объектива занимаетъ пространство AB, то величина $\frac{360^0}{2\pi}\cdot\frac{AB}{F_1}$ прямо выразитъ собою поле зрѣнія. Но $\frac{AB}{D}=\frac{F_2}{F_1-F_2}$, гдѣ D діаметръ объектива, F_1-F_2 разстояніе отъ объектива точки гдѣ помѣщается глазъ съ окуляромъ. Отсюда получаемъ выведенное уже въ § 277 на стр. 406 выраженіе для поля зрѣнія:

$$\frac{360^0}{2\pi}\cdot\frac{D}{F_1-F_2}\cdot\frac{F_2}{F_1}.$$

Вопросъ о полѣ зрѣнія при перемѣщеніи глаза въ бокъ раз-
рѣшается слѣдующимъ образомъ. Оптическое окно, представля-
емое мнимымъ изображеніемъ объектива, можетъ считаться
не перемѣняющимъ своего мѣста при перемѣщеніи глаза. Но
вслѣдствіе своего перемѣщенія, глазъ чрезъ то же окно видитъ
разные предметы при разныхъ положеніяхъ. Если глазъ перей-
детъ съ одного края окуляра къ другому, то угловое разстоя-
ніе предмета видимаго въ центрѣ поля зрѣнія въ первомъ слу-
чаѣ отъ предмета занимающаго центральную часть во второмъ
опредѣлится угломъ опирающимся изъ центра мнимаго изобра-
женія на объектива діаметръ окуляра. Мѣра этого угла есть.
$\frac{d}{\Delta}$, гдѣ d діаметръ окуляра, $\Delta=\frac{F_2}{F_1}(F_1-F_2)$. Имѣемъ
$\frac{d}{F_1-F_2}\cdot\frac{F_1}{F_2}$. Это есть угловое разстояніе между сказанны-
ми предметами какъ оно наблюдается чрезъ трубу. Дѣйстви-
тельное угловое разстояніе ихъ получится если эту величину
раздѣлить на увеличеніе, и будетъ слѣдов. $\frac{d}{F_1-F_2}$. И такъ
пространство которое труба позволяетъ обозрѣть при перемѣ-
щеніи глаза съ одного края окуляра на другой, или полное поле
зрѣнія, опредѣляется угломъ подъ какимъ окуляръ представ-
ляется для наблюдателя изъ центра объектива (подобно какъ въ
Кеплеровой трубѣ).

Разсматривая мнимое изображеніе объектива какъ дѣйстви-
тельное отверстіе чрезъ которое смотримъ и отъ котораго уда-
ляемся, не трудно разрѣшить вопросъ о полѣ зрѣнія трубки при
удаленіи глаза отъ окуляра. Назовемъ буквой δ діаметръ этого
мнимаго изображенія служащаго оптическимъ окномъ, Δ его
разстояніе отъ окуляра. Когда глазъ при окулярѣ, мѣрою поля
зрѣнія служитъ величина $\frac{\delta}{\Delta}$. Когда глазъ находится на раз-
стояніи z отъ окуляра, мѣрою поля зрѣнія будетъ величина
$\frac{\delta}{\Delta+z}$. Но $\frac{\delta}{\Delta+\delta}=\frac{\delta}{\Delta}\cdot\frac{\Delta}{\Delta+z}$. Потому чтобы получить,
зная поле зрѣнія когда глазъ при окулярѣ, величину поля зрѣнія
когда глазъ на разстояніи z, надо величину поля зрѣнія въ первомъ

случаѣ помножить на $\frac{\Delta}{\Delta + z}$. Такъ какъ $\Delta = \frac{F_2}{F_1}(F_1 - F_2)$, $\frac{\delta}{\Delta} = \frac{D}{F_1 - F_2} \cdot \frac{F_2}{F_1}$, гдѣ D отверстіе объектива, то поле зрѣнія для удаляющагося глаза будетъ имѣть мѣрою

$$\frac{DF_2^2}{F_2^2 z + F_1 F_2 (F_1 - F_1)}$$

Примѣчаніе. Во всѣхъ предыдущихъ разсужденіяхъ какъ и въ §§ 277 и 278 курса мы пренебрегали вліяніемъ величины зрачка, такъ какъ оно при наблюденіи полнымъ объективомъ вообще незначительно и кромѣ того обнаруживается въ области неяснаго зрѣнія. Теоретически не трудно опредѣлить это вліяніе на основаніи слѣдующихъ соображеній. Когда мы смотримъ чрезъ какое-либо отверстіе, то обозрѣваемое нами заразъ поле зрѣнія не ограничено строго прямыми линіями проведенными отъ вершины глаза какъ центра къ краямъ отверстія. Глазъ видитъ нѣсколько и за краями отверстія. По этой причинѣ угловая величина поля зрѣнія съ каждой стороны отверстія увеличивается угломъ опирающимся на половину отверстія зрачка и имѣющимъ вершину при краѣ или (что̀ все равно въ этомъ случаѣ) при центрѣ отверстія. Въ случаѣ Галилеевой трубки отверстію соотвѣтствуетъ мнимое изображеніе объектива. Разстояніе этого изображенія отъ глаза (помѣщеннаго при окулярѣ) равно $\frac{F_2(F_1 - F_2)}{F_1}$ или $\frac{F_1 - F_2}{G}$, гдѣ G увеличеніе. Если α есть діаметръ зрачка, то мѣрою упомянутаго угла, взятаго вдвойнѣ, будетъ величина $\frac{\alpha . G}{F_1 - F_2}$. Но каждая угловая величина обозрѣваемая чрезъ трубу соотвѣтствуетъ въ дѣйствительности углу въ G разъ меньшему. Слѣдовательно, истинное выраженіе, для величины на какую расширяется поле зрѣнія благодаря тому что зрачокъ имѣетъ замѣтный діаметръ α, получится чрезъ раздѣленіе полученной величины на G. Будемъ имѣть $\frac{\alpha}{F_1 - F_2}$. Слѣдов. поле зрѣнія отъ вліянія величины зрачка должно увеличиться на уголъ $\frac{360^0}{2\pi} \cdot \frac{\alpha}{F_1 - F_2}$.

Связь между полемъ зрѣнія и увеличеніемъ Галилеевой трубки даетъ весьма простое средство для приблизительнаго опредѣленія этого послѣдняго. Стоитъ простымъ глазомъ посмотрѣть чрезъ отверстіе котораго видимая величина равняется

видимой величинѣ свѣтлаго круга какимъ ограничено поле зрѣ-
нія, и сравнить обозрѣваемое пространство съ тѣмъ какое ви-
димъ чрезъ трубу. (Сравнить, напримѣръ, число оконъ зданія
видимыхъ чрезъ отверстіе съ числомъ видимыхъ чрезъ трубу).
Чтобы получить отверстіе равной видимой величины съ свѣт-
лымъ кругомъ трубки, можно или просто снять окуляръ и объек-
тивъ, и оставивъ глазъ на прежнемъ мѣстѣ, посмотрѣть чрезъ пу-
стое отверстіе трубки, или прибѣгнуть къ какому-либо болѣе
точному оптическому пріему.

На томъ же началѣ можно основать опредѣленіе увели-
ченія и астрономической трубы. Пусть окуляръ есть сло-
жный, негативный. Въ такомъ случаѣ зрительное окно есть
отверстіе діафрагмы помѣщаемой между двумя стеклами
окуляра. На отверстіе это, приблизительно соотвѣтствующее
отверстію втораго стекла окуляра, мы смотримъ чрезъ первое
его стекло, ближайшее къ глазу. Если, отнявъ окуляръ отъ
трубы и снявъ его стекла, посмотримъ чрезъ его пустую тру-
бочку на внѣшніе предметы (помѣщая глазъ по отношенію къ
этой трубочкѣ въ той самой точкѣ гдѣ онъ бываетъ когда
окуляръ снабженъ стеклами и служитъ для наблюденія) и срав-
нимъ обозрѣваемую такимъ образомъ часть круга внѣшнихъ
предметовъ съ тою, въ нѣсколько разъ меньшею частію, какую
обозрѣваемъ помощію этого окуляра заразъ чрезъ трубу, то
ихъ отношеніе дастъ увеличеніе. Опредѣленіе увеличенія можно
сдѣлать значительно болѣе точнымъ, если, глядя чрезъ трубу,
наблюдать въ то же время свободнымъ глазомъ или тѣмъ же
самымъ (не трудно придумать оптическіе пріемы для осуще-
ствленія такого совмѣстнаго наблюденія) діафрагму съ круглымъ
отверстіемъ, приближаемую до тѣхъ поръ пока ея отверстіе
представится той же угловой величины какъ зрительное окно
трубы. Сравнительное наблюденіе тѣхъ же предметовъ чрезъ
отверстіе и чрезъ трубу безъ труда поведетъ къ опредѣленію
увеличенія. Метода, въ нѣсколько измѣненномъ видѣ, можетъ
быть приложима и къ микроскопу.

ЗАМѢЧЕННЫЯ ПОГРѢШНОСТИ.

Страница.	Строка.	Напечатано:	Должно читать.
32	3 снизу	въ 1643 году	въ 1543 году
71	3 снизу	теряетъ столько сколько	теряетъ вѣса столько сколько
76	5 —	этотъ вѣсъ на вѣсъ тѣла	на этотъ вѣсъ вѣсъ тѣла
146 и 264		Коньяръ де Латуръ	Каньяръ де Латуръ
170	4 —	ut	ut_3
205	9 — слѣдуетъ исключить слова: „и находится, вѣроятно, въ расплавленномъ состояніи“		
224	3 и 4 снизу	$\frac{1}{23}$	$\frac{1}{273}$
261	12 сверху	Донни	Дюфуръ
262	16 снизу	увеличивается	уменьшается
285	фиг. 261 поставлена верхъ ногами		
290	13 сверху	Чрезъ нѣсколько лѣтъ Деви	Чрезъ годъ Деви
323	6 сверху	$\frac{MM}{d}$	$\frac{b\ m}{f}$
498	склоненіе въ Москвѣ по болѣе новымъ наблюденіямъ		1°7′ къ В.
641	3 сверху	2.268.1000	2.268.000
737	13 —	$i=i'=i''$	$i=i'+i''$